

Untersuchungen über die Verfügbarkeit von Stickstoff
und Phosphor für *Holcus lanatus* in einem Pseudogley
und in Trumaos

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Justus Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von
Miren Alberdi L.
aus Valdivia – CHILE

Gießen 1970



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545915_0006

Untersuchungen über die Verfügbarkeit von Stickstoff
und Phosphor für *Holcus lanatus* in einem Pseudogley
und in Trumaos

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Justus Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von
Miren Alberdi L.
aus Valdivia – CHILE

Gießen 1970



Dekan: Prof.Dr. G. Eder

I. Berichterstatter: Prof.Dr. L. Steubing

II. Berichterstatter: Prof.Dr. R. Knapp

Tag der mündlichen Prüfung: 15.Dezember 1970

Gedruckt mit Unterstützung des Deutschen Akademischen
Austauschdienstes.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
I. Einleitung	6
II. Herkunft der Bodenproben und Charakteristik der Standorte	8
III. Untersuchungsmethodik	14
A. Chemische Aufarbeitung der Bodenproben	14
1) pH-Wert	
2) C-Gehalt bzw. "Humus"	
3) Gesamtstickstoff	
4) Nitratstickstoff	
5) Ammoniumstickstoff	
6) Gesamtphosphor	
7) Anorganischer Phosphor	
8) Organischer Phosphor	
9) Laktatlösliches Phosphat	
10) Wasserkapazität	
B. Mikrobiologische Analysen	15
1) Stickstoffmineralisation	
2) Ammonifikation	
3) Kohlenstoffmineralisation	
4) Phosphormineralisation	
5) Keimzählung	
C. Gewächshausversuche mit <i>Holcus lanatus</i>	16
1) Anzuchtbedingungen	
2) Trockengewichts- bzw. Wassergehalts- bestimmungen	
3) Phosphorgehalt	
4) Stickstoff- und Proteinanalysen	
5) Osmotischer Wert	
6) Zuckerbestimmung	
7) Rohfaser-Versuche	
8) Skleromorphie-Untersuchungen	

	Seite
D. Statistische Auswertung	20
IV. Besprechung der Ergebnisse	
A. Chemische Charakteristik der Testböden	21
- pH-Wert	
- Stickstoffgehalt	
- Nitratstickstoff	
- Ammoniumstickstoff	
- Kohlenstoffgehalt	23
- Kohlenstoff / Stickstoff-Quotienten	
- Gesamtphosphor	25
- Anorganischer Phosphor	
- Organischer Phosphor	
- Laktatlösliches Phosphat	
- Kohlenstoff / Phosphor-Quotienten	29
- Stickstoff / Phosphor-Quotienten	
B. Mikrobiologische Versuche	30
1) Mineralisation des Stickstoffs	30
2) Mineralisation des Kohlenstoffs	36
3) Mineralisation des Phosphors	40
C. Kulturversuche mit <i>Holcus lanatus</i>	48
1) Ertragsbestimmungen	48
2) Proteingehalt	
3) Gesamtphosphor	54
4) Stickstoff / Phosphorverhältnis in den Pflanzen	59
5) Di- und Monosaccharidgehalt von <i>Holcus</i> Di/Monosaccharid-Quotienten	59
6) Osmotische Werte von <i>Holcus</i>	62
7) Skleromorphie-Untersuchungen	62
V. Diskussion der Ergebnisse	69
VI. Zusammenfassung	79
VII. Literaturverzeichnis	81

I. Einleitung

Boden, Klima und Vegetation beeinflussen einander gegenseitig. Für die Standortverhältnisse sind weiterhin biotische Faktoren von Bedeutung; so kann z.B. der Mensch durch Bearbeitung oder Düngung von Anbauflächen einen sehr erheblichen Eingriff sowohl in das Bodengefüge als auch in den Wasser- und Mineralstoffhaushalt der Pflanze vornehmen. Der Boden ist nicht nur als edaphischer Faktor für die höhere Pflanze wichtig, er bildet zugleich auch den Siedlungsraum für zahlreiche Mikroorganismen; während die höheren Pflanzen vor allem auf die Zufuhr anorganischer Stoffe angewiesen sind, vermögen die Mikroorganismen abgestorbene Pflanzen- und Tierreste zu verwerten. So kommen mit der Streu Kohlenhydrate, Lignin, Protein, Phosphatide, Wachse und Fette in den Boden hinein und können dem Edaphon als Nährstoff- und Energiequelle dienen. Dieses organische Material unterliegt mikrobiellen Umsetzungen und wird schließlich im Boden mineralisiert. Durch Aufnahme der hiermit freigesetzten Nährstoffe durch die Pflanzenwurzeln kann der geschilderte bio-geochemische Zyklus erneut in Gang gesetzt werden. In der vorliegenden Arbeit sollten Untersuchungen über die Stickstoff- und besonders über die Phosphorverfügbarkeit für *Holcus lanatus* in 3 vulkanischen chilenischen Böden und einem deutschen podsoligem Pseudogley durchgeführt werden. SCHWABE (1961) und KICK (1963) weisen bereits darauf hin, daß die genannten chilenischen Böden kaum verfügbares Phosphat enthalten.

Es ist bekannt, daß durch Stickstoffmangel ähnliche Strukturveränderungen in Pflanzen hervorgerufen werden können wie durch Wassermangel. Auf die durch N-Defizit

bedingte Peinomorphie ist schon vielfach hingewiesen worden (VOLK und THIEMANN 1927, BÖNING 1930, FIRBAS 1931, MOTHES 1932, BÖNING und BÖNING-SEUBERT 1934, MÜLLER-STOLL 1948, GREB 1957, WALTER 1960).

In mehreren Arbeiten führt BEADLE (1953, 1954, 1962, 1966) an, daß Phosphormangel für die Ausprägung skleromorpher Merkmale in Pflanzengesellschaften Australiens verantwortlich sei. Demgegenüber messen COALDRAKE und HAYDOCK (1958) den Bodenphosphaten keine Bedeutung für die Ausbildung von Pflanzenassoziationen im Bereich von Süd Queensland bei. ARENS (1958) versucht, die skleromorphen Blattstrukturen der Vegetation einiger Standorte Brasiliens ebenfalls mit Mineralstoffmangel in Verbindung zu bringen und weist besonders auf die Bedeutung von Stickstoff, Phosphor und Kalium hin.

Aus dem Mitgeteilten geht hervor, daß über die Bedeutung des Phosphors für eine Strukturbeeinflussung der Pflanzen keine einhellige Meinung besteht. Um einen weiteren Beitrag zu dem angeschnittenen Problem zu liefern, wurde *Molcus lanatus* bei verschiedener Phosphorversorgung der Böden angezogen und anschließend der Skleromorphiegrad bestimmt.

Da der Phosphorgehalt eines Bodens nicht entscheidend für die Phosphorversorgung der Pflanze ist, mußten neben einer Analyse über die verschiedenen Phosphorfractionen in den Testböden mikrobiologische Versuche durchgeführt werden, die Aufschluß über die Mineralisierungsrate organisch gebundenen Phosphors gaben.

II. Herkunft der Bodenproben und Charakteristik der Standorte

a) Allgemeine Charakteristik

Als Material für diese Untersuchungen wurden drei chilenische vulkanische Böden, sog. Trumaos, und ein deutscher Wiesenboden, ein podsoliger Pseudogley, benutzt. Da *Holcus lanatus* L. eine auf diesen Böden weit verbreitete Grasart ist, wurde sie als Testpflanze für die Aufnahme des im Boden verfügbaren Stickstoffs und Phosphors gewählt.

Chile verfügt bei 4200 km Länge und einer zwischen 90 - 420 km pendelnden Breite über ein zwar ausgedehntes, doch sehr schmales Areal. Die Ostbegrenzung ist durch die Anden gegeben, im Westen bildet die Küstenkordillere gleichermaßen eine wichtige klimatische und damit auch floristische Barriere.

Innerhalb der klimatischen Faktoren sind es die Niederschläge, die vorwiegend die Bodenentwicklung bestimmen. ROBERTS und DIAZ (1959-1960) unterscheiden in Chile 11 Bodentypen innerhalb eines Gebietes, das mit einem jährlichen Niederschlag von 0 bis 80 mm beginnend bis zu einem Areal von 1500 bis 2500 mm Regen reicht. Für die vorliegenden Untersuchungen sind nur jene Böden interessant, die in dem Bereich liegen, in dem der jährliche Niederschlag zwischen 850 und 2500 mm schwankt. Hier trifft man auf vulkanische Substrate, die aus holozenischer und pleistozenischer Asche entstanden sind. Sie befinden sich im Valle Central, das in seiner Längsausdehnung von der Küstenkordillere und den Praeandes begrenzt wird. Im Norden treten die vulkanischen Böden etwa um den 35. Breitengrad bei der Provinz Curicó auf, im Süden enden sie mit dem 43. Grad in der Chiloé-Provinz (Abbildung 1).

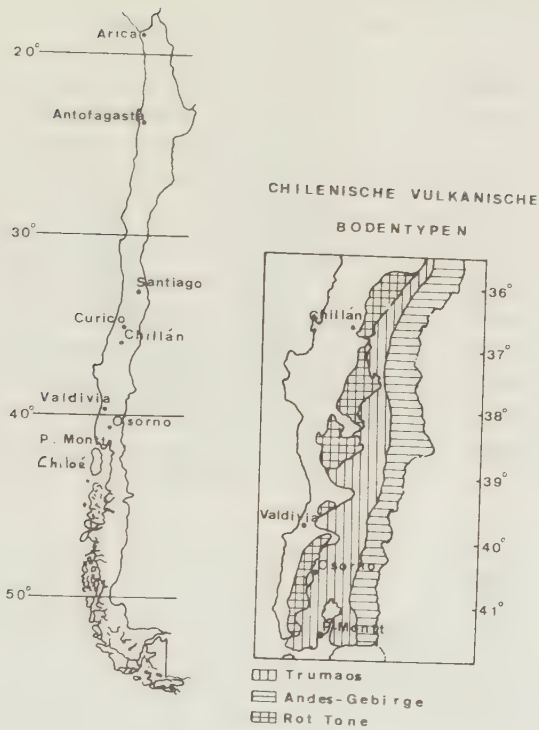


Abb.1: Lage der Untersuchungsstandorte in Chile;
Skizze der vulkanischen Böden im engeren und
weiteren Arbeitsgebiet (nach BESOAİN 1958
verändert)

Diese Böden lassen sich einteilen in:

1. Trumaos, aus jüngerer Asche entstanden,
2. Rojo Arcillosos, aus älterer Vulkan-Asche.

BESOAIN (1958) stellte fest, daß in den roten Tonböden (Rojo Arcillosos) kaolinitische, kristallinische Minerale vorherrschen, die in verschieden starkem Maße mit kristallinem Eisen- und Aluminium-Oxyd verbunden sind, in einigen kommen auch geringe Mengen von Allophan vor. In den meisten der Trumaos herrscht demgegenüber Allophan vor (ECHEVARRIA 1966, WEINBERGER und BINSACK 1970), und zwar in mehr oder weniger starkem Grad verbunden mit amorphen Aluminium-oxyden. KUBIENA (1952) bezeichnet die Trumaos als eine Art von Braunlehen. Entsprechende Trumaos finden sich als sogenannte Andoböden in Japan (JACOB 1944), als "polvillos" auf den Kanarischen Inseln (KUBIENA 1952) und als "Jellow brown loams" in Neu Zeeland (TAYLOR 1948).

Wie schon erwähnt, nimmt der Niederschlag vom Norden Chiles nach Süden hin zu. Mit der größeren Regenhöhe verbessert sich auch die Wasserversorgung der Vegetation, so daß hier - im Gegensatz zum Norden - der Anteil an Mesophyten und auch an Hygrophyten immer höher wird. In sehr regenreichen Gebieten herrscht der Wald als natürliche Formation vor, und nur anthropogen bedingt treten Wiesen und Weiden auf. Als Reste der ehemaligen Waldbestände findet man einzelne Nothofagus-Arten.

Zur besseren Bezeichnung der Herkunft der hier untersuchten chilenischen Trumao-Böden sei angeführt, daß sie aus dem südchilenischen Längstal zwischen 39° 51' und 41° Länge stammen, und zwar von

- 1) Fundo Punahue (PUN), Provinz Valdivia
- 2) Fundo San Francisco (FCO), Provinz Osorno
- 3) Fundo Portónido Piedras (POR), Provinz Osorno.

Abb.2: Klimagramm,
gültig für Punahue
in der Provinz
Valdivia
(nach LAUER 1960)

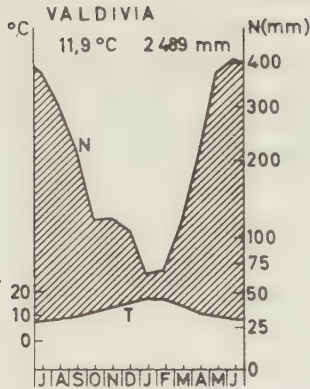
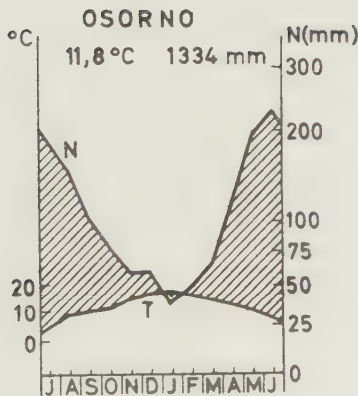


Abb.3: Klimagramm
für die Provinz
Osorno mit den
Orten San Francisco
und Portón de
Piedras
(nach LAUER 1960)



Die Bodenproben wurden von Wiesenflächen entnommen, die lange nicht mehr bewirtschaftet worden waren und seit 5 Jahren keinen Dünger mehr erhalten hatten.

Für die Probenentnahme wurde jeweils eine Fläche von 10 m Länge und 10 m Breite genommen. Innerhalb eines solchen Quadrats wurden an 5 jeweils etwa gleichweit voneinander entfernten Stellen Proben aus 0-5, 5-10 und 10-15 cm Tiefe entnommen. Die Böden wurden an der Luft getrocknet und danach die Proben der einander entsprechenden Horizonte zu einer Mischprobe vereinigt. Der deutsche Boden stammt aus dem Universitäts-Forstgarten bei Giessen.

b) Spezielle Charakteristik

1) Punahue-Boden (PUN)

Punahue (39° s.Br.) befindet sich 140 m über dem Meeresspiegel in der Provinz Valdivia. Die dortigen Temperaturschwankungen sind aus dem Klimagramm (Abbildung 2) zu ersehen. Der Niederschlag ist normalerweise auch im Sommer so hoch, daß nur eine etwas trocknere Zeit in den Monaten November bis Februar im Kurvenbild des Diagramms eingetragen ist. Eine echte Trockenzeit fehlt in der Regel in diesem Gebiet. Die natürliche Vegetation, der immergrüne "valdivianische Regenwald" entspricht dem Kurvenverlauf des Diagramms.

Die wichtigsten Pflanzen an der Probenentnahmestelle waren hier: *Holcus lanatus*, *Dactylis glomerata*, *Arrhenatherum elatius*, *Bromus unioloides*, *Poa pratensis*, *Paspalum desapleurum*, *Agrostis castellana*, *Trifolium repens*, *Hypochoeris radicata*, *Rumex acetosella*, *Prunella vulgaris*.

2) San Francisco-Boden (FCO)

San Francisco liegt 40° s.Br. und 100 m über dem Meerespiegel. Es handelt sich hier um einen in der Provinz Osorno gelegenen Standort, der trockener als Punahue ist (Abbildung 3). Es gibt mindestens einen Monat im Jahr mit einer ausgeprägten Trockenzeit (Januar). Durchschnittlich fallen etwa 1300 mm Niederschlag pro Jahr, und die mittlere maximale Temperatur liegt bei 11°C. Im Januar beträgt die mittlere maximale Temperatur 22°C und das Temperatur-Minimum 17°C.

Der Untersuchungsboden wies einen Bewuchs mit folgenden Pflanzen auf: *Holcus lanatus*, *Dactylis glomerata*, *Arrhenatherum tuberosum*, *Bromus unioloides*, *Poa pratensis*, *Trifolium repens*, *hypochoeris radicata*, *Prunella vulgaris*, *Centella asiatica*, *Leptostigma arnottianum*, *Carex fuscula*.

3) Portón de Piedras-Boden (POR)

Portón liegt auf gleichem Breitengrad wie San Francisco, jedoch 150 m höher, ebenfalls in der Provinz Osorno. Die klimatischen Bedingungen hinsichtlich der Temperatur entsprechen etwa denen von San Francisco, jedoch ist der Jahresniederschlag von 2500 mm etwa doppelt so hoch.

Als wichtige Pflanzen finden sich an diesem Standort: *Holcus lanatus*, *Dactylis glomerata*, *Lolium multiflorum*, *Arrhenatherum tuberosum*, *Bromus unioloides*, *Poa pratensis*, *Cynosorus echinatus*, *Trifolium repens*, *Trifolium pratense*, *Hypochoeris radicata*, *Cerastium glomeratum*, *Prunella vulgaris*, *Linum angustifolium*, *Plantago lanceolata*.*

* Für die Bestimmung des Pflanzenmaterials danke ich Herrn Dr.P.Weinberger, Valdivia-CHILE.

4) Forstgarten-Boden (FOR)

In dem deutschen, bei Giessen gelegenen Forstgarten ist ein podsoliger Pseudogley vorhanden. Das Gelände liegt innerhalb eines Buchen-Mischwaldes.

An der Stelle der Bodenprobenentnahme wuchsen folgende Pflanzenarten: *Holcus lanatus*, *Urtica dioica*, *Stellaria media*, *Calluna vulgaris*, *Aegopodium podagraria*, *Rumex obtusifolius*, *Cirsium palustre*, *Scirpus silvaticus*.

III. Untersuchungsmethodik

Mit den aus verschiedenen Horizonten stammenden Bodenproben wurde eine Reihe chemischer und mikrobiologischer Analysen durchgeführt.

A. Chemische Aufarbeitung der Bodenproben

1) der pH-Wert (H_2O) wurde in einer Boden-Wasser-Aufschwemmung 1:10 mittels einer Glasstabelektrode (Fa. WTW) gemessen.

2) Der C-Gehalt bzw. "Humus" wurde durch nasse Verbrennung nach SPRINGER und KLEE (STEUBING 1965) untersucht.

3) Die Bestimmung des Gesamtstickstoffs erfolgte durch Aufschluß mit Salicyl-Schwefelsäure nach KJELDAHL und FOERSTER (STEUBING 1965).

4) Der Nitratstickstoff wurde colorimetrisch unter Verwendung von Xylenol bestimmt (STEUBING 1965). Das gebildete Nitroxlylenol ließ sich als gelbes Alkalisalz in einem Spektralphotometer Beckman DBG messen.

5) Die kolorimetrische Bestimmung des Ammoniumstickstoffs erfolgte nach CONVAY (STEUBING 1965). Unter Verwendung von Neßlers Reagenz wurde das gelb gefärbte Aminomerkurijodid photometriert.

6) Zur Erfassung des Gesamtphosphors diente die kolorimetrische Vanadat-Molibdat-Methode nach WENZEL (1956).

7) Zur Fraktionierung des anorganischen Phosphats dienten die Angaben von CHANG und JACKSON (1957), verbessert von SOMMER (1966), durch nacheinander erfolgende Extraktion mit $n\text{-NH}_4\text{Cl}$ (wasserlösliches und austauschbares Phosphat), $0,5\text{ n-NH}_4\text{F}$ bei pH 7 ("Al-Phosphat"), $0,1\text{ n-NaOH}$ ("Fe-Phosphat"), $0,5\text{ n-H}_2\text{SO}_4$ ("Ca-Phosphat"), $0,3\text{ n-Natriumcitratlösung} + \text{Na-Dithionit}$ (unter reduzierenden Bedingungen lösliches Fe-Phosphat), $0,5\text{ n-NaF}$ (eingeschlossenes Al-Phosphat).

Auf die Bestimmung der Fraktionen Nr.1 und 6 wurde wegen ihres geringen P-Gehaltes später verzichtet.

8) Der organische Phosphor wurde aus der Differenz zwischen Gesamtphosphor und anorganischem Phosphor errechnet.

9) Das laktatlösliche Phosphat wurde nach der Doppellaktatmethode von EGNER und RIEHM (STEUBING 1965) bestimmt. Als Reduktionsmittel diente allerdings nicht Zinnchlorür, sondern Ascorbinsäure, die eine größere Stabilität des blauen Phosphormolybdatkomplexsalzes gewährleistet (ROUTENBERG, ASSENBERG, NEUHAUS 1951).

10) Die maximale Wasserkapazität des Bodens wurde mit lufttrockener Feinerde bestimmt (STEUBING 1965).

B. Mikrobiologische Analysen

1) Um das Stickstoffmineralisationsvermögen der Böden zu bestimmen, wurden die Proben auf 60 % WK angefeuchtet und bei 20°C in einem dunklen Brutschrank von 85-95 % relativer Feuchte bebrütet (ZÖTTL 1958). Der Wassergehalt der Proben wurde nötigenfalls laufend ergänzt. Nach 96 Stunden, 3 und 6 Wochen wurden die Proben auf ihren Gehalt an N, NO_3^- und NH_4^+ untersucht.

2) Das Ammonifikationsvermögen ließ sich nach POCHON und TARDIEUX (1962) bestimmen: Die auf 60 % WK angefeuchteten Bodenproben wurden mit 1 % Pepton gründlich vermischt, die Ansätze bei 28°C bebrütet und das von der Schwefelsäure aufgefangene, aus dem mikrobiell zersetzten Pepton stammende Ammoniak zwei Wochen lang täglich titriert.

3) Die Bestimmung der Kohlenstoffmineralisation erfolgte durch Titration des mikrobiell erzeugten CO₂ (ISER-MEYER 1952). Während 6 Tagen wurde die tägliche CO₂-Exhalation des Bodens gemessen.

4) Für die Bestimmung der potentiellen Phosphormineralisierung aus inkubiertem Lecithin wurden die Bodenproben auf 80 % WK angefeuchtet und im Erlenmeyerkolben mit 1 % Lecithin versetzt (JACKMAN und BLACK 1952). Die mit Wattestopfen verschlossenen Kolben wurden bei einer Temperatur von 28°C in einem dunklen Brutschrank mit konstanter Feuchte von 96 - 100 % aufbewahrt. Nach 96 Stunden und 6 Wochen wurde das freigesetzte laktatlösliche Phosphat bestimmt. Proben ohne Lecithinzusatz dienten als Blindprobe. Die Differenz zwischen dem Gehalt an laktatlöslichem Phosphat in den Proben mit Lecithinzugabe und der Blindprobe ergab das aus dem Lecithin mineralisierte Phosphat.

5) Die Keimzählungen wurden nach der KOCH'schen Plattenmethode auf Fleisch-Hefe-Agar für Bakterien, auf Malz-Agar für Pilze und auf Rose-Bengal-Malz-Extrakt-Agar für Actinomyceten durchgeführt.

C. Gewächshausversuche mit *Holcus lanatus*

1) Anzuchtbedingungen

Zur Einsaat von *Holcus lanatus* wurden mit Paraffin ausgegossene Tonschalen benutzt. In jede schale kamen 500 g Boden, und zwar 18 Schalen pro Horizont. Neun von

den 18 Schalen erhielten einen Lecithin-Zusatz. Durch Untermischen der genannten organischen Substanz gelangten pro Tonschale in den Boden 0,46g Phosphor und 0,18 g Stickstoff. Pro Versuchsgefäß wurden 50 Samen eingelegt; die Böden mußten täglich auf 70 % WK gegossen werden.

Die Anzucht der Pflanzen fand im Versuchsgewächshaus des Instituts statt bei einer Tagestemperatur von 21°C, einer Nachtemperatur von 16°C; während der Wintermonate wurde zusätzlich mit HQL-Lampen beleuchtet, und damit war zugleich eine Tageslänge von 16 Stunden gewährleistet.

Ein und zwei Monate nach der Aussaat wurden die Holcus-Pflanzen geerntet und folgende Analysen durchgeführt:

2) Trockengewichts- bzw. Wassergehaltbestimmung

Das frisch geerntete Pflanzenmaterial wurde 10 Minuten bei 105°C und anschließend bis zur Gewichtskonstanz bei 80°C getrocknet.

3) Phosphorgehalt nach GERICKE und KURMIES (1952)

Die getrocknete Pflanzensubstanz wurde im Muffelofen bei 500 - 600°C verascht, danach kurz mit Salpetersäure aufgekocht, um das beim Veraschen gebildete Pyrophosphat in Orthophosphat umzuwandeln. Nach Filtration erfolgte die Zugabe von Ammonium-Vanadat, Ammonium-Molybdat und Salpetersäure (Reagenz gemischt nach WEINZEL). Der mit dem Phosphat gebildete gelbe Komplex wurde am Spektralphotometer bei 440 nm gemessen.

4) Stickstoff- und Proteinanalysen

Zur Stickstoff- und Proteinbestimmung diente die KJELDAHL-Methode. Löslicher und mit Trichloressigsäure fällbarer

Stickstoff wurden getrennt erfaßt (BELOSERSKI 1956). Das bei der Destillation entweichende Ammoniak wurde in Borsäure aufgefangen und titrimetrisch bestimmt.

Die für eine Skleromorphie-Bestimmung notwendigen Rohproteinwerte wurden durch Multiplikation der Gesamtstickstoffgehalte der Pflanzen mit dem Faktor 6,25 erhalten (LOVELESS 1961).

5) Osmotischer Wert

Die Preßsaftgewinnung für die Ermittlung des osmotischen Wertes erfolgte nach den Vorschriften von WALTER (1931). Das im Dampftopf abgetötete Pflanzenmaterial wurde in einer hydraulischen Presse (Fa.Mohr) bei einem Druck von 100 atm. ausgepreßt, die Preßsäfte in Reagenzgläsern gesammelt und sofort mit dem Mikroosmometer von der Firma Knauer (Berlin) die osmotischen Werte gemessen. Die Umrechnung der Gefrierpunkterniedrigung in Partialdrucke des osmotischen Wertes erfolgte nach den von WALTER (1936) veröffentlichten Tabellen.

6) Zuckerbestimmung

Zur Bestimmung des Zuckers wurden die frischen Holcus-Blätter zunächst fünf Minuten auf 105°C im Trockenschrank erhitzt und danach 24 Stunden bei 60°C (PAECH & TRACEY 1956) getrocknet. Anschließend wurde die Trockensubstanz staubfein gemahlen, dann mit Wasser eine Stunde lang bei 45°C extrahiert (BELOSERSKI 1956) und in einem Teil des Extraktes die reduzierenden Zucker nach SOMOGYI bestimmt (PAECH & TRACEY 1955). Eine zweite Pflanzenprobe wurde mit Salzsäure versetzt, so daß der Säuregehalt 2 % betrug, und fünf Minuten bei 70°C hydrolisiert. Nach Neutralisation des Extraktes erfolgte eine erneute Bestimmung der reduzierenden Zucker. Aus der Differenz der Werte aus der ersten und der zweiten Bestimmung ergab sich

die im Extrakt enthaltene Disaccharidmenge. Als Eichzucker diente Glucose. Alle Mengenangaben der nach dieser Methode bestimmten Kohlenhydrate beziehen sich daher auf Glucose. Es wurde das Di-Monosaccharid-Verhältnis errechnet.

7) Rohfaser

Der Rohfaseranteil ließ sich durch Kochen des getrockneten Pflanzenmaterials in verdünnter Schwefelsäure und verdünnter Lauge ermitteln (STEUBING 1965).

8) Skleromorphie-Untersuchungen

Untersuchungen über den Phosphorgehalt der Böden in Relation zum Skleromorphiegrad von *Holcus lanatus* wurden mit dem chilenischen Boden von San Francisco und dem deutschen Boden aus dem Forstgarten durchgeführt. Die Bodenproben stammten jeweils aus 0 - 15 cm Tiefe. Von diesen Böden wurden die organische Substanz, der Gehalt an Gesamtphosphor und an laktatlöslichem Phosphat und der Gesamtstickstoffgehalt untersucht.

Dem chilenischen Boden wurde eine anorganische Phosphordüngung ($\text{Na}_2\text{H PO}_4$) zugeführt. Eine Versuchsreihe erhielt 15 mg P/100 g Boden (Stufe A) und eine weitere 30 mg P/100 g Boden (Stufe B). Ansätze ohne Düngungszugabe (Stufe 0) dienten als Kontrolle. Die Töpfe mit jeweils 500 g Boden wurden täglich auf 70 % WK gegossen.

50 Tage nach dem Auflaufen wurden die Pflanzen geschnitten und Trockensubstanz-, Phosphor-, Rohprotein- und Rohfaserbestimmungen durchgeführt sowie der Skleromorphie-Index und der Sproß-Wurzel-Quotient ausgerechnet. Außerdem wurden die osmotischen Werte von frischen Pflanzenblättern ermittelt. Im Gegensatz zum chilenischen Boden erhielt der deutsche Forstgartenboden organische Düngung durch Inkubation von getrockneten und gemahlenen *Holcus lanatus*-Pflanzen. Das

zugegebene Pflanzenmaterial enthielt 40 mg P/100 g Boden (Stufe A). Proben ohne Pflanzenzugabe dienten als Kontrolle (Stufe 0). Da die Zersetzung der Pflanzensubstanz im Boden langsam verläuft (BIRCH 1961), wurde das auf diesem Boden aufgelaufene Gras erst nach 65 Tagen geschnitten und dann die gleichen Untersuchungen wie bereits geschildert durchgeführt.

Die Umrechnung des Skleromorphie-Indexes erfolgte nach der von LOVELESS (1961) vorgeschlagenen Formel:

$$\frac{\text{Rohfaser \% T.G.} \times 100}{\text{Rohprotein \% T.G.}} = \text{Skleromorphie Index}$$

Die Relationen Sproß zu Wurzelgewicht wurden nach KAUSCH und EHRING (1959) errechnet. Nach dem Auswaschen der Wurzeln wurden sie im Trockenschrank 10 Minuten bei 105°C, dann bei 80°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Auch die Sprosse wurden bei der gleichen Temperatur getrocknet (STEUBING 1965).

1). Statistische Auswertung

Die bei den Versuchen erhaltenen Ergebnisse wurden mit Hilfe der Varianzanalyse (MUDRA 1958) statistisch abgesichert. In den Tabellen sind die jeweils erreichten Signifikanzgrenzen folgendermaßen gekennzeichnet worden:

P = < 5 %	-	(nicht signifikant)
P = 5-1 %	+	(signifikant)
P = 1 %	++	(hoch signifikant)

Es wurden auch folgende Zeichen verwendet:

- ++. hoch signifikant nur die erste Tiefe gegen die zweite und dritte Tiefenstufe des Testbodens
- +. signifikant nur die erste Tiefe gegen die zweite und dritte Tiefenstufe des Testbodens

- ++.. hoch signifikant die erste Tiefe gegen die dritte Tiefe und die zweite gegen die dritte.
- +... signifikant die zweite gegen die dritte Tiefenstufe des Testbodens

Sind die Zeichen eingeklammert, so bezieht sich die Signifikanz nur auf die Differenzen zwischen den Werten für die chilenischen Bodenproben und dem deutschen Boden.

IV. Besprechung der Ergebnisse

Im folgenden sei zunächst ein Vergleich der chemischen und mikrobiologischen Eigenschaften der Testböden gegeben. Anschließend werden die Ergebnisse der Gewächshausversuche behandelt, in denen der Ertrag sowie öko-physiologische Eigenschaften der auf den Testböden wachsenden *Holcus*-Pflanzen ermittelt wurden.

A. Chemische Charakteristik der Testböden

Die wichtigsten chemischen Analysendaten für die chilenischen und den deutschen Boden sind in Abbildung 4 eingetragen. Sämtliche Böden waren schwach sauer und wiesen mit zunehmender Bodentiefe eine geringe Minderung der Azidität auf. Die höchste H-Ionenkonzentration besaß der Pseudogley des Forstgartens (FOR pH 4,6 - 4,9), während die chilenischen Bodenproben im Bereich von pH 5,1 (POR) über 5,4 (PUN) bis pH 5,7 (FCO) reichten.

Der Stickstoffgehalt war in den chilenischen Böden deutlich höher als in dem deutschen. Lag der N-Gehalt im Forstgarten in 0 - 5 cm Tiefe bei 0,2 %, in den tieferen Schichten bei 0,1 %, so fand sich in den vergleichbaren Horizonten des Bodens aus Porton (POR) eine Konzentration von 0,8 bzw. 0,7 % N pro Bodentrockengewicht. Im Punahue-Boden (PUN) fiel der N-Gehalt von der oberen Bodenschicht

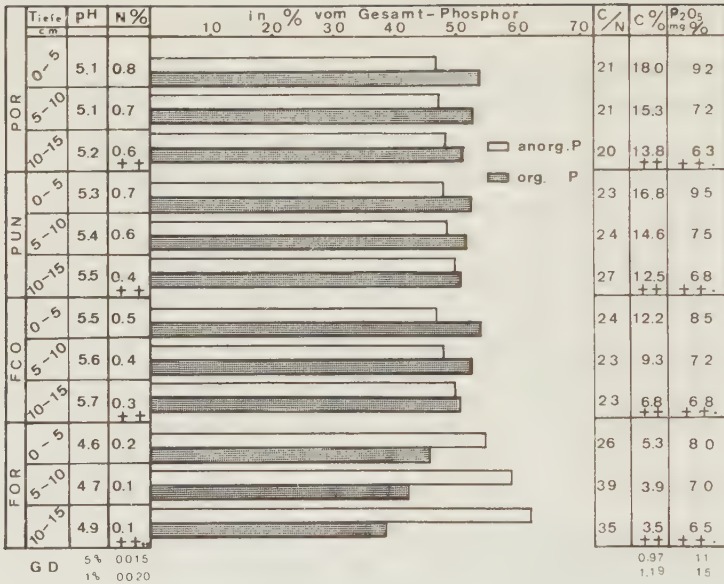


Abb.4: Chemische Analysendaten zur Charakteristik der Testböden aus Porton (POR), Punahue (PUN), San Francisco (FCO) und aus dem Forstgarten (FOR)

mit 0,7 % bis auf 0,4 % in der 10 - 15 cm tiefen Schicht ab. Die entsprechenden Analysen für den Francisco-Boden (FCO) ergaben einen Abfall von 0,5 % auf 0,3 % in 10 - 15 cm Tiefe.

Die gefundenen Werte für Nitrat- und Ammonium-Stickstoff mit den entsprechenden Signifikanzen sind in der Tabelle 1 zusammengefaßt. In allen Testböden nahm der Gehalt an Nitrat- und Ammonium-Stickstoff mit zunehmender Tiefe ab.

Den höchsten Gehalt an Nitrat-Stickstoff besaßen die Trumaos und den niedrigsten der Forstgarten-Boden. So waren z.B. in 0 - 5 cm Tiefe des Bodens aus Portón 8,9 mg Nitrat / 100 g Boden enthalten. In der entsprechenden Tiefe fand sich in dem Boden aus dem Forstgarten nur 3,2 mg NO_3^- / 100 g Boden.

Demgegenüber wies der Forstgarten NH_4 -Werte auf, die in allen Bodentiefen weit über denen der Trumaos lagen. Aus den in Tabelle 1 ebenfalls eingetragenen pH-Zahlen geht zugleich hervor, daß der Ammonium-Stickstoff mit fallendem pH-Wert des Substrates zunahm, während der Nitrat-Stickstoff einen Rückgang zeigte. RUNGE (1965) wies bereits auf ähnliche Relationen in Waldböden Nordwestdeutschlands hin.

Die chilenischen Böden hatten nicht nur mehr Stickstoff, sondern auch einen wesentlich höheren Anteil an organischer Substanz. Mit 18 % Kohlenstoff, d.h. 31 % organischer Substanz in der oberen Bodenschicht übertraf der Portón-Boden den des Forstgartens um mehr als das Dreifache (letzterer wies in 0 - 5 cm Tiefe nur 5,3 % C bzw.

Tabelle 1: NH_4^+ -Stickstoff, NO_3^- -Stickstoff und pH-Werte der untersuchten chilenischen Trumaos und des deutschen Pseudogley in Abhängigkeit der Bodentiefen

Standort u. Bodentiefen cm	mg/100 g Boden		pH-Wert
	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	
0 - 5	0,22	8,90	5,1
POR 5 - 10	0,19	7,22	5,1
10 - 15	0,11	5,12	5,2
Signifikanz	++..	++	
0 - 5	0,19	7,24	5,3
PUN 5 - 10	0,13	7,21	5,4
10 - 15	0,11	4,23	5,5
Signifikanz	++.	++	
0 - 5	0,19	7,15	5,5
FCO 5 - 10	0,14	6,82	5,6
10 - 15	0,09	4,50	5,7
Signifikanz	+	++	
0 - 5	0,29	3,20	4,6
FOR 5 - 10	0,21	2,32	4,7
10 - 15	0,18	1,91	4,9
Signifikanz	++.	++	
	(++)	(++)	
G.D. 5 %	0,05	0,017	
G.D. 1 %	0,06	0,023	

9,1 % organische Substanz auf. Unter den chilenischen Böden besaß der POR-Boden den höchsten, der FCO-Boden den geringsten Humusgehalt, während der PUN-Boden eine Mittelstellung einnahm. Allgemein verringerte sich der Anteil an organischer Substanz mit der Entnahmetiefe. Da die WK sowohl von der Korngröße als auch vom Gehalt eines Bodens an quellbaren Substanzen abhängt, nahm die Wasserbindung der Testböden mit sinkendem Humusgehalt ab. (Tabelle 3).

Das Verhältnis C/N lag fast ausnahmslos über 20 und stieg in den Proben aus dem Forstgarten für die 5 - 15 cm tiefen Schichten sogar über 35. Gleichermäßen fand auch im PUN-Boden ein Anstieg des C/N-Quotienten mit zunehmender Schichttiefe statt, während im POR- und FCO-Boden ein schwacher Abfall ermittelt wurde.

Neben dem Stickstoff lag das Schergewicht der chemischen Bodenuntersuchung auf der Bestimmung der einzelnen Phosphorfraktionen. Auch hier zeigte sich wieder, daß die Trumaos nährstoffreicher als der deutsche Pseudogley waren. Nach Abbildung 4 besaß der Punahue-Boden mit 95 mg/100 g Trockengewicht in 0 - 5 cm Tiefe den höchsten P_2O_5 -Wert, dicht gefolgt von den POR-Proben, während die Bodenproben von San Francisco etwas niedrigere Werte aufwiesen. Ein weiterer Abfall an Gesamtphosphor ergab sich für den Forstgarten-Boden. In 10 - 15 cm Tiefe stimmten die Phosphorwerte für die 4 Testböden praktisch überein.

Interessante Befunde brachte die Trennung des Phosphors in organische und anorganische Bodenfraktion. Ausnahmslos war der Gehalt an organischem Phosphor in den

Tabelle 2: Fraktionierung des anorganischen Phosphors
im Boden

Standort u. Boden- tiefen cm	mg P_2O_5 /100 g Boden					
	Al-P	Fe-P	oklud. Fe-P	Ca-P	Gesamt- anorg. Phosphor	laktat- lösl. Phosphat
0 - 5	9,0	15,8	7,0	11,3	43,1	1,8
POR 5 - 10	8,0	10,0	4,7	11,5	34,2	1,9
10 - 15	5,5	9,0	3,0	12,5	30,0	1,9
Signifikanz	++	++.	-	++	++	-
0 - 5	8,3	15,5	7,7	14,0	45,5	1,9
PUN 5 - 10	6,0	10,5	5,0	14,5	36,0	1,9
10 - 15	4,8	9,5	3,0	16,5	33,8	2,0
Signifikanz	++	++.	-	++	++	-
0 - 5	2,5	12,0	7,0	18,0	39,5	2,0
FCO 5 - 10	1,0	9,0	5,0	19,5	34,5	2,2
10 - 15	1,0	8,0	3,5	21,4	33,9	2,3
Signifikanz	++.	++.	-	++	++	-
0 - 5	2,3	10,0	8,0	23,2	43,5	3,0
FOR 5 - 10	1,6	8,4	7,0	23,8	40,8	3,8
10 - 15	1,5	8,0	6,5	24,3	40,3	3,9
Signifikanz	++.	+	-	++	++	-
G.D. 5 %	(++) 0,4	(++) 1,4	(-) 4,8	(++) 0,1	(++) 0,3	1,3
G.D. 1 %	0,5	1,8	5,2	0,2	0,4	1,9

chilenischen Böden höher als im deutschen, wobei der POR-Boden die höchsten Werte brachte. Mit absinkendem Humusgehalt nahm auch in allen Böden der Anteil an organischem Phosphor ab. Diese enge Beziehung zwischen organisch gebundenem Phosphor und dem Gehalt des Bodens an organischer Substanz wurde von SAUERLANDT und Mitarbeiter (1957) im Podsol und im Tscheremozem gefunden. MULDER hatte bereits 1844 auf den hohen Anteil organischen Phosphors im Humus hingewiesen. Während nach PIERRE und PARKER (1927) dieser organisch gebundene Phosphor nicht direkt für die höheren Pflanzen aufnehmbar ist, kann er durch mikrobielle Umwandlung mineralisiert und damit verfügbar werden (STEINER 1938, THOMPSON und BLACK 1947, BOWER 1949, KAILA 1954, GREAVES und Mitarbeiter 1963, KAS 1966).

Der Gehalt an laktatlöslichem Phosphat wies nach Tabelle 2 einen Anstieg mit zunehmender Bodentiefe auf. Im Pseudogley des Forstgartens wurden die höchsten Werte gefunden. Stieg in diesem Substrat der Gehalt dieser P-Fraktion von 3,0 mg in 0-5 cm Tiefe auf 3,9 mg in 10-15 cm Bodentiefe an, so betrugen die Vergleichszahlen für den chilenischen POR-Boden 1,8 mg bzw. 1,9 mg, für den PUN-Boden 1,9 mg bzw. 2,0 mg und schließlich für den FCO-Boden 2,0 und 2,3 mg. Aus den mitgeteilten Zahlen wird ersichtlich, daß die chilenischen Böden nicht nur einen geringeren Anteil an dem sogenannten "pflanzenverfügbarem", d.h. laktatlöslichem Phosphat aufwiesen, sondern zugleich auch der Anstieg vom 1. zum 3. Horizont ein geringerer war.

In Tabelle 2 sind fernerhin die Werte für die verschiedenen Fraktionen des anorganischen Phosphors in den Testböden angegeben. Hiernach überwiegen in den Portón-

Tabelle 3: C/P-, N/P-, C/N-Verhältnis und Wasserkapazität der Böden von Portón, Punahue, San Francisco und Forstgarten

Standort	Bodentiefen	C/P	N/P	C/N	WK %
FOR	0 - 5	196	9	21	82
	5 - 10	212	10	21	81
	10 - 15	219	10	20	80
			-	-	Signifikanz
PUN	0 - 5	176	7	23	75
	5 - 10	195	8	24	76
	10 - 15	184	6	27	73
			-	+	Signifikanz
FCO	0 - 5	144	6	24	68
	5 - 10	128	6	23	67
	10 - 15	100	4	23	66
			-	++..	Signifikanz
FOR	0 - 5	66	3	26	34
	5 - 10	56	1	39	40
	10 - 15	54	2	35	39
			-	++	Signifikanz

(+)(++) (++)

G.D. 5 %

3,5 1,9

G.D. 1 %

4,7 2,6

Proben die Aluminiumphosphate, gefolgt von denen aus Punahue, und mit bedeutend geringeren Mengen schließen sich die Böden aus San Francisco und dem Forstgarten an. Die gleiche Reihenfolge der Testböden trifft auch für die Eisenphosphate zu. Zwischen den Proben aus San Francisco und dem Forstgarten bestanden für die beiden genannten P-Fraktionen nur geringe Unterschiede. Allgemein nahm der Gehalt an Aluminium- und Eisenphosphaten mit der Tiefe ab. Die letzte Aussage trifft auch für das okludierte Eisenphosphat zu. Allerdings ergaben sich bei einem Vergleich der einander entsprechenden Bodenhorizonte keine deutlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Bodenproben. Im Gegensatz zu dem bisher angeführten Abfall der Eisen- und Aluminiumfraktionen zu den tieferen Bodenschichten hin, ließ sich für die Kalziumphosphate ein Anstieg ermitteln. Der Boden des Forstgartens war reicher an Kalziumphosphaten als die Trumaos. Bezieht man nun für die verschiedenen Bodenproben den Gehalt an organischem sowie an anorganischem Phosphor jeweils auf den Gesamtphosphor des Substrats, so war - wie aus Abbildung 4 deutlich wird - die Abnahme des organischen Phosphors zur Tiefe hin begleitet von einem Anstieg der anorganischen Phosphor-Fraktion.

In Tabelle 3 sind die Relationen C/P und N/P berechnet worden. Das höchste C/P-Verhältnis mit Werten um 200 wurde für den Portón-Boden ermittelt. Demgegenüber stand mit einem mittleren C/P-Wert von etwa 60 der Forstgarten-Boden. Hoben sich die C/P-Quotienten für die Trumaos aus Chile deutlich vom Pseudogley des Forstgartens ab, so war eine ähnliche Differenzierung auch mittels der N/P-Relationen möglich. In den Trumaos lag $N/P = 5$, und sogar im POR-Boden in 5-15 cm Tiefe 9, demgegenüber wurden im Pseudogley nur Quotienten von 3-1 ermittelt.

B. Mikrobiologische Versuche

Die Mineralisation von Stickstoff, Kohlenstoff und Phosphor aus bodeneigenen Materialien sowie nach Zugabe von Pepton oder Lecithin wurde in Brutversuchen für die verschiedenen Testböden untersucht.

1) Mineralisation des Stickstoffs

a) Mineralisation bodeneigenen Materials

In Tabelle 4 sind die Werte eingetragen, die bei der Mineralisation des bodeneigenen Stickstoffs unter den optimalen Bedingungen des Brutversuches anfielen. Da sich die Netto-Mineralisation aus der Summation der Ammonium- und Nitratwerte ergibt, sind diese Analysendaten ebenfalls in der Tabelle enthalten. Aus letzterer geht sofort hervor, daß die Menge an mineralisierbarem Nitrat- und Ammoniumstickstoff in allen Böden mit der Tiefe abnahm.

Betrachtet man die Mineralisierungsrate bodeneigenen Materials zu NO_3^- in Abhängigkeit von der Zeit, so wiesen die chilenischen Böden zu allen Versuchsterminen (d.h. nach 96 Stunden ebenso wie nach 3 und 6 Wochen) eine stärkere Nitrat-Anhäufung auf als der Forstgarten-Boden. Prinzipiell stieg der Gehalt an Nitrat von Versuchsbeginn bis zum Ende hin kontinuierlich an. Dieser Anstieg war allerdings für den Ammoniumstickstoff nicht so deutlich. Wohl aber ergab sich eine signifikante Akkumulation an NH_4 , wenn die Anfangswerte mit denen zu Versuchsende verglichen wurden. Die Ammonium-Anhäufung war im POR- und im PUN-Boden sehr viel höher als im FCO-Boden oder gar im Pseudogley des FOR-Substrates. Die Gesamt-Mineralisation des Stickstoffs verlief in den Trumaos besser als in dem

Tabelle 4: Nettostickstoffmineralisation bodeneigener Stoffe und Gewinn an Gesamt-Mineralstickstoff nach 96 Stunden, 3 und 6 Wochen in % des Anfangswertes.
[N_{min} = Mineralstickstoff (NH₄-N+NO₃-N), ZOTTL (1960)]

Standort u. Bodentiefe cm	Anfangswert NH ₄ -N NO ₃ -N mg/100 g Boden		96 Stunden Gewinn NH ₄ -N NO ₃ -N an N _{min} mg/100 g Boden		3 Wochen NH ₄ -N NO ₃ -N mg/100 g Boden		Gewinn an N _{min} mg %		6 Wochen NH ₄ -N NO ₃ -N mg/100 g Boden		Gewinn an N _{min} mg %		C/N
	mg/100 g Boden	mg/100 g Boden	mg/100 g Boden	mg %	mg/100 g Boden	mg/100 g Boden	mg %	mg %	mg/100 g Boden	mg/100 g Boden	mg %	mg %	
POR 0 - 5 5 - 10 10 - 15	0,22	8,90	0,80	11,80	3,48	1,28	12,00	5,16	1,28	40,00	32,16	21	
	0,19	7,20	0,65	9,60	2,86	1,20	11,00	4,91	1,12	30,00	23,73	21	
	0,11	5,10	0,50	7,00	2,29	0,50	8,90	1,19	0,88	19,00	14,67	20	
PUN 0 - 5 5 - 10 10 - 15	0,19	7,20	0,78	9,60	2,99	0,88	11,00	1,49	1,12	38,00	31,73	23	
	0,13	7,20	0,60	8,30	1,57	0,80	9,00	1,47	0,96	25,00	17,63	24	
	0,11	4,20	0,45	5,00	1,14	0,64	5,30	1,63	0,40	22,40	18,49	27	
FCO 0 - 5 5 - 10 10 - 15	0,19	7,10	0,70	9,90	2,41	0,80	10,00	3,51	0,44	20,50	13,65	24	
	0,14	6,80	0,65	7,30	1,01	0,28	8,00	1,34	0,36	17,40	10,82	23	
	0,09	4,50	0,30	4,90	0,71	0,16	5,60	1,25	0,30	10,10	5,81	23	
FOR 0 - 5 5 - 10 10 - 15	0,29	3,20	1,02	3,60	1,23	1,52	5,40	3,43	0,52	8,00	5,03	26	
	0,21	2,30	0,90	2,60	1,19	1,40	5,20	4,09	0,48	7,50	5,47	39	
	0,18	1,90	0,60	2,30	0,82	0,72	4,80	3,44	0,26	5,60	3,78	35	

1 2 1

Pseudogley. So ließ sich in 0-5 cm Tiefe des Portón-Bodens eine N-Mineralisation von 3,48 mg pro 100 g Probe messen, in der gleichen Tiefe des Forstgartens aber nur eine solche von 1,23 mg. Ein Vergleich der chilenischen Böden untereinander brachte die beste N-Mineralisation für den Portón-, die geringste für den San Francisco-Boden. Der Punahue-Boden nahm eine Mittelstellung ein.

Nach Abbildung 5 bestand ganz offensichtlich eine enge Beziehung zwischen dem jeweiligen Gehalt an Stickstoff und Kohlenstoff in den Untersuchungsproben und der N-Mineralisationsrate: je höher nämlich der N- und C-Anteil im Substrat war, desto günstiger gestaltete sich die Mineralisation. HARMSSEN und SCHREVEN (1955), ZÖTTL (1960) und ALEXANDER (1967) wiesen darauf hin, daß das C/N-Verhältnis entscheidend für die Stickstoffmineralisation ist.

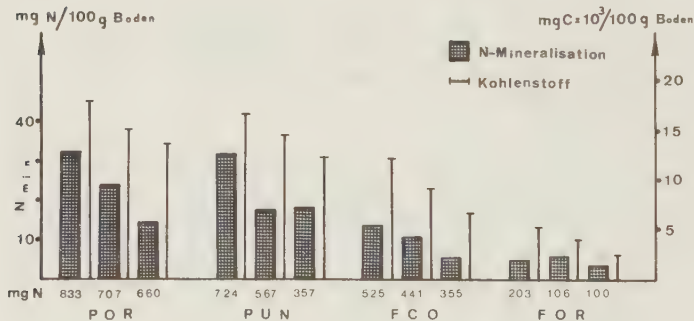


Abb.5: Beziehung zwischen N-Mineralisation von bodeneigenen stickstoffhaltigen Substanzen und dem Gehalt an Stickstoff und Kohlenstoff in den verschiedenen Horizonten der Testböden.

Organische Stoffe werden nur bei ausreichender N-Versorgung schnell abgebaut. Bei einer C/N-Relation unter 20 überwiegt im allgemeinen die Stickstoffmineralisation, dagegen über 30 die Stickstoffimmobilisation (BROADBENT und TYLER 1965, SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1966). Die Abhängigkeit der N-Mineralisation von dem C/N-Verhältnis der organischen Substanz läßt sich damit erklären, daß die Mikroorganismen für den Aufbau ihrer Körpersubstanz einen bestimmten N-Bedarf haben, der durch organische Stoffe mit einem C/N-Verhältnis von ungefähr 20 (wie z.B. im POR-Boden) gedeckt werden kann. Bei einer weiteren C/N-Relation (wie sie auch im Forstgarten-Boden vorliegt) wird entweder die Mikroorganismenentwicklung gehemmt, oder der im Boden vorhandene anorganische Stickstoff wird zum Aufbau ihrer Körpersubstanz verwendet und damit den höheren Pflanzen vorübergehend entzogen (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1966).

NORMAN (1931) fand, daß die N-Immobilisation schneller im schwach alkalischen Bereich verläuft als im neutralen oder schwach sauren. In unseren Experimenten zeigte der Pseudogley, der einen pH-Wert zwischen 4,6 und 4,9 besaß, eine geringere Neigung zur N-Mineralisierung als die weniger azidophilen chilenischen Böden. Mehrere Autoren berichteten über ähnliche Befunde in Wiesenböden (EGGLETON 1934, RICHARDSON 1938, MARTIN 1949, MILLBANK 1959).

b) Ammonifikation von inkubiertem Pepton

Während in den voranstehenden Versuchen über die Mineralisation bodeneigener Substanzen berichtet wurde, sollen nun Experimente geschildert werden, bei denen

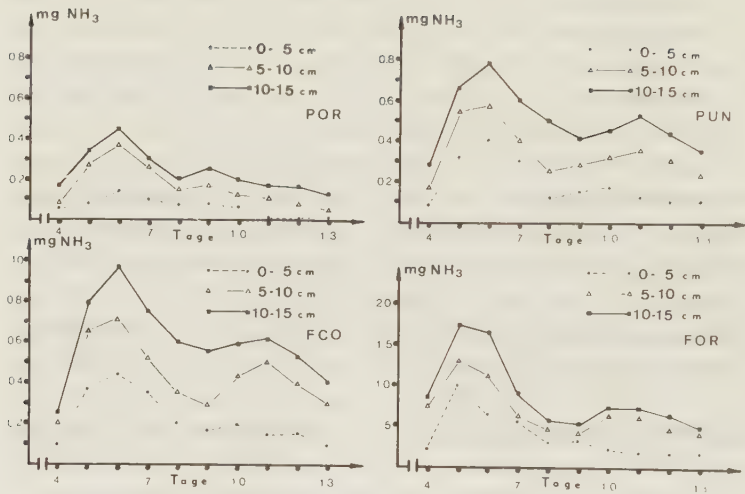


Abb.6: Täglich bestimmte Ammoniakbildung aus inkubiertem Pepton in verschiedenen Horizonten der Testböden. (Angegeben sind $\text{mg}/100 \text{ g}$ Boden)

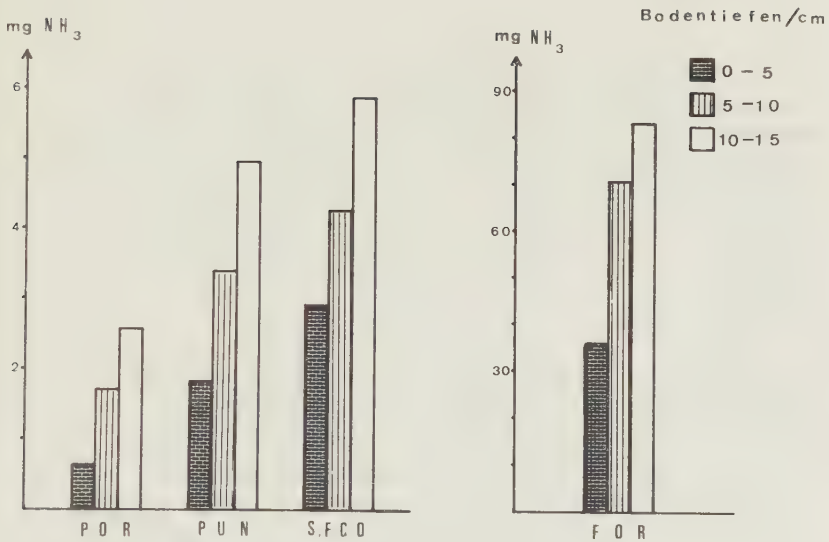


Abb.7: Gesamtmenge des aus Pepton freigesetzten Ammoniaks nach 13-tägiger Inkubation

eiweißhaltiges Material (Pepton) dem Boden zugefügt worden war. Die nach der Bebrütung gefundenen Ammonifikationswerte stammen demnach sowohl von der Mineralisation des Peptons als auch der bereits vorhandenen bodenbürtigen eiweißhaltigen Stoffe. In Abbildung 6 finden sich die Ammonifikationswerte für die verschiedenen Horizonte der Testböden für einen Zeitraum von 13 Tagen.

Die geringsten Ammoniakmengen wurden sowohl in den Trumaos als auch im Pseudogley von den oberen Bodenschichten (0,5 cm) abgegeben, die zugleich auch den höchsten Gehalt an bodeneigenem Stickstoff aufwiesen. Die Ammonifikation nahm stets mit der Tiefe zu. Das Maximum der Ammoniak-Entbindung lag bei den chilenischen Proben am sechsten Tag, bei der deutschen Bodenprobe am fünften Tag.

Aus Abbildung 7 geht hervor, daß der Pseudogley im Vergleich zu den Trumaos eine größere Menge an NH_3 aus dem Pepton freisetzte. Unter den chilenischen Böden fand die höchste NH_4 -Exhalation in den San Francisco-Proben statt. Diese Ergebnisse stehen wieder in Einklang mit denen für die Ammonifikation in verschiedenen Bodentiefen. Allgemein verlief die NH_3 -Produktion umgekehrt proportional zum vorhandenen Bodenstickstoff.

2) Mineralisation des Kohlenstoffs

Abbildung 8 enthält die Werte für die tägliche CO_2 -Abgabe aus bodeneigenem organischem Material nach insgesamt sechs Tagen.

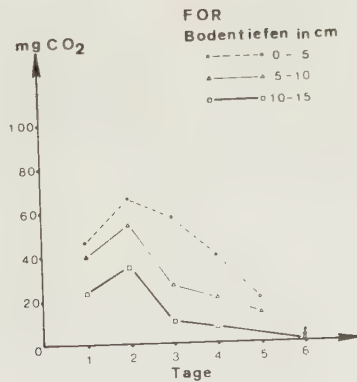
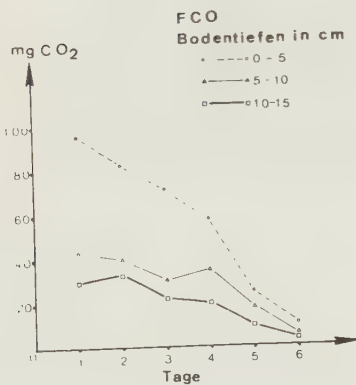
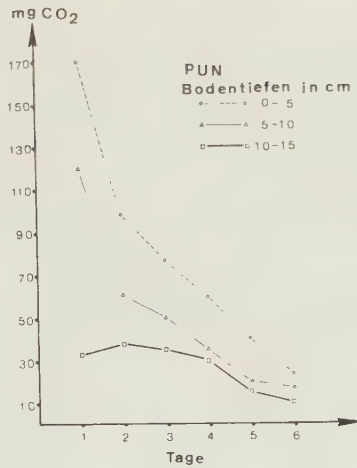
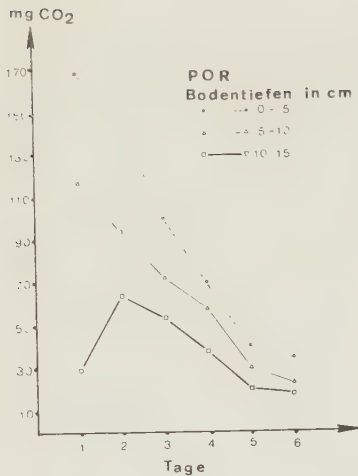


Abb.8: Täglich bestimmte CO₂-Produktion in verschiedenen Horizonten der Testböden.
(Angaben sind mg/100 g Boden)

Die intensivste CO_2 -Produktion fand sich in allen Böden jeweils in dem humusreichsten Horizont. Die Produktion des Kohlendioxids nahm daher parallel zur organischen Substanz mit der Horizonttiefe ab. Aus der Abbildung 8 geht ferner hervor, daß bei den besonders Kohlenstoff-reichen Bodenproben das Maximum der CO_2 -Exhalation bereits innerhalb der ersten 24 Stunden nach Versuchsbeginn erreicht wurde. Dies war besonders auffällig bei den beiden oberen Horizonten der Böden aus Portón, Punahue sowie für die erste Tiefenschicht aus San Francisco. Demgegenüber wurde das CO_2 -Maximum für die an organischer Substanz ärmeren Bodenschichten aus dem Forstgarten erst nach 2 Tagen Bebrütung erreicht.

In Abbildung 9 sind die Summationswerte für die insgesamt 6-tägige CO_2 -Exhalation der Testböden dargestellt. In diesem Blockdiagramm kommt sowohl die Abnahme der Bodenatmung mit zunehmender Horizonttiefe als auch die Verminderung der Bodenaktivität des Pseudogleys gegenüber den Trumaos deutlich zum Ausdruck.

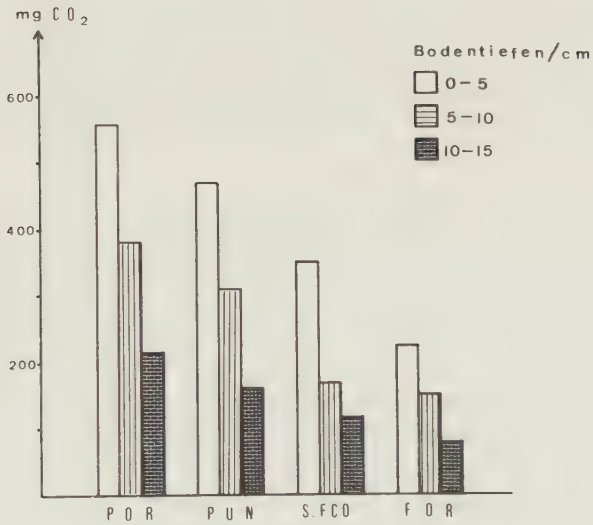


Abb.9: Gesamtmenge der CO₂-Produktion in verschiedenen Horizonten der Testböden nach 6 Tagen.
(Angegeben sind mg/100 g Boden)

3) Mineralisation des Phosphors

Ebenso wie bei den Versuchen über die N-Mineralisation in den Testböden interessierte nicht nur, in welchem Umfang der native Bodenphosphor mikrobiell angegriffen und umgewandelt wird, sondern auch die P-Mineralisation von inkubiertem Testmaterial. Letzteres sollte als Modell für den Abbau des alljährlich mit der Streu oder mit nicht keimenden Samen u.a.m. in den Boden gelangenden und vom Edaphon abzubauenen Substanzen dienen.

a) Mineralisation bodeneigenen Materials

Von "mineralisiertem Phosphor" sei im folgenden nur dann gesprochen, wenn sich innerhalb einer bestimmten Versuchszeit eine Erhöhung der laktatlöslichen P-Fraktion zeigte. Trat statt dessen ein zahlenmäßiger Rückgang auf, so fand eine Immobilisation statt. Demnach beziehen sich die nachstehenden Aussagen stets auf den Laktat-Phosphor im Boden: $P_{\min} = \text{Mineralphosphor (laktatlösl. P zu Versuchsende - laktatlösl. P zu Versuchsbeginn)}$. Nach Tabelle 5 ließ sich bei der Bebrütung der Proben eine recht unterschiedliche P-Mineralisation in den Testböden erkennen. Der Forstgarten-Boden hatte zu Versuchsbeginn die höchsten P_2O_5 -Werte/100 g Trockengewicht. Im Verlauf der insgesamt 6-wöchigen Versuchszeit ergab sich nur für dieses Substrat eine positive Phosphor-Bilanz. Die Trumaos wiesen bedeutend niedrigere Anfangswerte für den P-Gehalt auf. Während nun nach 96 Stunden bei diesen noch ein Anstieg an laktatlöslichem P_2O_5 , d.h. eine Mobilisierung, stattfand, trat mit zunehmender Versuchsdauer die Freisetzung des Phosphors zurück

zugunsten einer Festlegung. In allen chilenischen Böden erfolgte nach 6 Wochen eine Immobilisation, im Forstgarten dagegen in dem gleichen Zeitraum eine Mineralisation.

Da nach Abbildung 4 die Trumaos den höchsten Gehalt an organischem Phosphor aufwiesen, hätte man erwarten können, in ihnen die höchste P-Mineralisationsrate zu finden. Im Gegensatz zu dieser Annahme zeigte aber der Boden aus dem Forstgarten eine wesentlich bessere Mineralisation. Demnach kann die Bildung von laktat-löslichem P_2O_5 nicht allein von dem Reservoir an organischem Bodenphosphor abhängen. Man muß vielmehr auch den anorganischen Phosphor in die Betrachtung mit einbeziehen. Die Menge an anorganischem Phosphat ist aber im Forstgarten höher als in den chilenischen Böden.

Mehrere Autoren stellten eine starke Temperaturabhängigkeit für die Phosphormineralisation fest. So berichteten BID und Mitarbeiter (1951), daß die Nachlieferung an pflanzenverfügbarem Phosphat bei 20°C von der Menge an anorganischem Bodenphosphor und bei 35°C aber mehr vom Gehalt an organischem Phosphor abhängt. AQUAYE (1963) fand bei P-Mineralisationsversuchen im Labor, daß die Mineralisationsrate bodeneigener Substanzen in Proben bei 30°C Bebrütungstemperatur höher als bei 27°C war. Bei Temperaturen oberhalb 50°C konstatiert er eine zeitliche chemische Zersetzung der organischen P-Fraktion. Von ähnlichen Resultaten berichten auch MILESCH und BLACK (1947). Sie fanden für drei Iowa-Böden, daß die Phosphormineralisation bei Bebrütungstemperaturen zwischen -14°C und 30°C sehr gering war, daß aber die Menge an mineralisierbarem Phosphat von

Tabelle 5: Nettophosphormineralisation bodeneigener Stoffe nach 96 Stunden und 6 Wochen sowie der Gewinn an Pmin (P₂O₅) in mg %

Standort u. Bodentiefe cm	Anfangswert mg P ₂ O ₅ /100 g Bod.	96 Stunden mg P ₂ O ₅ /100 g Bod.	Gewinn an Pmin mg %	6 Wochen mg P ₂ O ₅ /100g Bod.	Gewinn an Pmin mg %
POR					
0 - 5	1,8	2,50	0,70	-	-
5 - 10	1,9	2,30	0,40	-	-
10 - 15	1,9	2,00	0,10	-	-
Signifikanz	-	-	++		
PUN					
0 - 5	1,9	2,30	0,40	-	-
5 - 10	1,9	2,15	0,25	-	-
10 - 15	2,0	2,10	0,10	-	-
Signifikanz	-	-	++		
FCO					
0 - 5	2,0	2,20	0,20	-	-
5 - 10	2,2	2,10	-	-	-
10 - 15	2,3	2,00	-	-	-
Signifikanz	-	-	++		
FOR					
0 - 5	3,0	3,00	-	3,5	0,5
5 - 10	3,8	2,90	-	5,0	1,2
10 - 15	3,9	2,00	-	4,5	0,6
Signifikanz	-	-			
Grenzdifferenzen	(+) (++) (-)	(-)	(++)	(++)	(++)
5 %	1,30	2,03	0,04		
1 %	1,90	2,72	0,06		

30°C bis zu 150°C immer mehr anstieg. Da bei einer Temperatur von 150°C keine Mikroorganismen mehr an diesen Umwandlungsprozessen beteiligt sein können, wurde zur Erklärung für die Befunde eine enzymatische Spaltung des Phosphors angeführt (STEINER 1938, GREAVES und Mitarbeiter 1963).

Zur Deutung der eigenen Ergebnisse kann man - gestützt auf die Resultate von EID und Mit.(1951) - annehmen, daß bei der hier gewählten Versuchstemperatur von 28-30°C der Hauptteil des P-min aus der anorganischen P-Fraktion stammte.

Während voranstehend ein Vergleich der P-Mineralisation zwischen den beiden verschiedenen Bodentypen (Trumaos - Pseudogley) gezogen wurde, läßt sich die unterschiedliche Mineralisationsrate innerhalb eines bestimmten Bodenprofils mit dem Gehalt an organischem Material, und damit auch zur Menge der vorhandenen Mikroorganismen in Beziehung setzen (HIRTE 1963, THOMPSON und Mitarbeiter 1947, 1954). In allen Böden nahmen die Humusmenge und die Mikroben zur Tiefe hin ab und gleichermaßen auch die P-Mineralisation (Tabelle 16).

b) Mineralisation des Phosphors aus inkubiertem Lecithin

Als Modells substanz für eine P-Mineralisation aus pflanzlichem- P- und N-reichem Material, wie es z.B. mit den Globoiden in Samen im Boden anfallen kann, wurde Lecithin verwendet.

Die Mineralisierung oder auch Immobilisierung des Phosphors aus der genannten Testsubstanz in den verschiedenen Bodenproben ist aus Tabelle 6 ablesbar.

Tabelle 6: Netto-Phosphormineralisation von Lecithin nach 96 Stunden und 6 Wochen

Standort u. Bodentiefe cm	96 Stunden mg $P_2O_5/100$ g Bod.	Gewinn an Pmin %	6 Wochen mg $P_2O_5/100$ g Bod.	Gewinn an Pmin %
POR				
0 - 5	4,70	46,80	-	-
5 - 10	5,50	58,18	-	-
10 - 15	6,00	66,60	-	-
Signifikanz	++	++		
PUN				
0 - 5	4,50	48,80	-	-
5 - 10	4,90	56,10	-	-
10 - 15	5,00	58,00	-	-
Signifikanz	++	++		
FCO				
0 - 5	8,50	75,00	-	-
5 - 10	10,00	79,00	-	-
10 - 15	11,50	82,70	-	-
Signifikanz	++	++		
FOR				
0 - 5	25,00	88,00	39,00	80,00
5 - 10	26,00	88,80	51,50	90,00
10 - 15	29,00	93,00	52,00	93,00
Signifikanz	++	+++		++
Grenzdifferenzen	(++)	(++)		
5 %	0,5	1,29		
1 %	0,1	1,76		

Aus dieser geht hervor, daß der mikrobiell bedingte Gewinn an laktatlöslichem Phosphor generell mit zunehmender Bodentiefe anstieg. Diese Phosphor-Mineralisierung war im Pseudogley signifikant intensiver als in den Trumaos. Demnach wiesen die humus- und phosphorreichereren chilenischen Böden eine schlechtere P-Nachlieferung als der Forstgarten-Boden auf. Diese Befunde decken sich gut mit denen der P-Mineralisierung aus bodeneigenem Material (Tabelle 5). Während nun nach 96 Stunden in allen Böden ein deutlicher Gewinn an laktatlöslichem Phosphor stattgefunden hatte, verringerte sich diese Menge für die chilenischen Böden derartig, daß nach 6 Wochen die Bilanz bereits negativ war. Auf die anfängliche Mineralisierung war demnach eine Festlegung des Phosphors gefolgt. Positiver blieb demgegenüber der P-Gewinn in dem Pseudogley.

In Abbildung 10 sind Gehalt an organischem und anorganischem Phosphor und P-Mineralisierung aus Lecithin nach 96-ständiger Inkubation eingetragen. Aus dieser Abbildung geht deutlich hervor, daß der Forstgarten-Boden den geringsten Anteil an organischem Phosphor bei höchster Mineralisierungsquote besaß. Das letztgenannte Substrat besaß aber auch nach Abbildung 11 zugleich das engste C/P-Verhältnis, das für die beiden oberen Horizonte wenig über 50 und mit dem Wert 66 ebenfalls noch weit unter dem der Trumaos lag. Von diesen wies der POR-Boden mit einem C/P-Quotienten über 200 die höchsten, der FCO-Boden mit $C/P = 100$ die niedrigsten Werte auf.

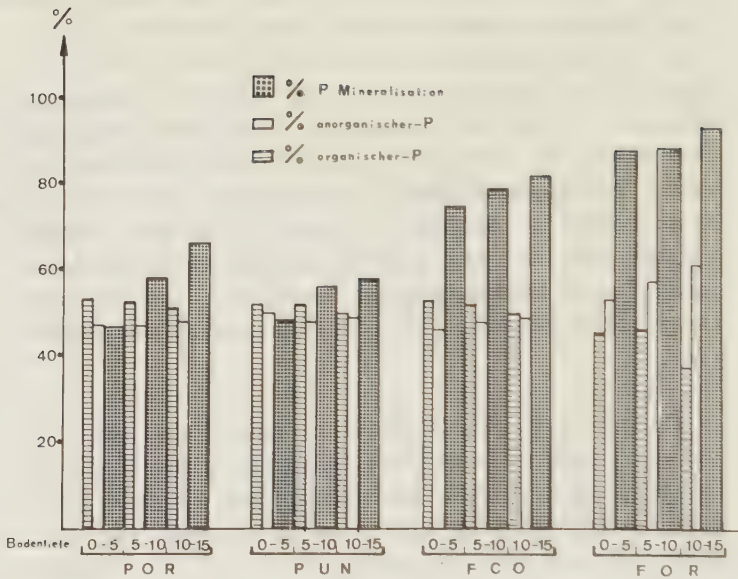


Abb.10: P-Mineralisation aus Lecithin berechnet in % des Gesamt-P. Vergleich mit dem Betrag an anorganischem und an organischem Phosphor. (Berechnung jeweils in % des Gesamt-Bodenphosphors.)

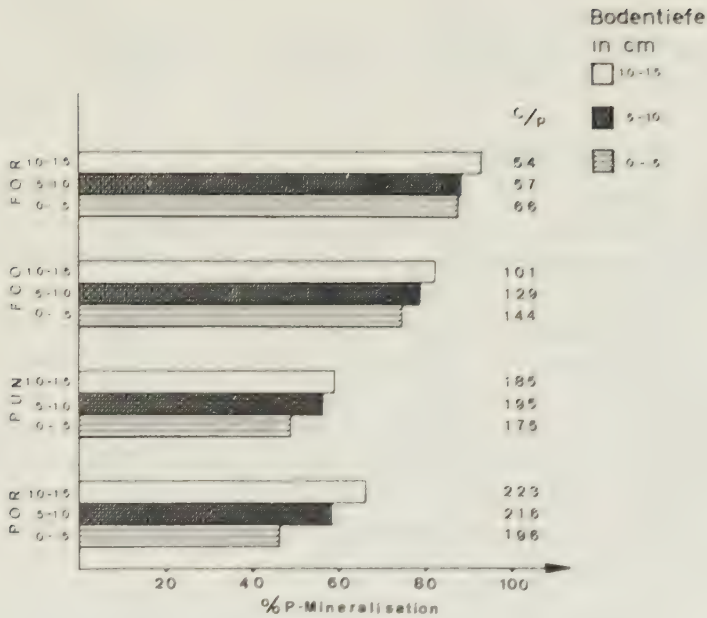


Abb.11: P-Mineralisation von Lecithin nach
96 Stunden und C/P-Verhältnis

C. Kulturversuche mit Holcus lanatus

In die 3 chilenischen Trumaos und in den Pseudogley aus dem Giessener Forstgarten wurden *Holcus lanatus*-Samen ausgesät und die Keimprozente ermittelt. Die Keimung der Samen erfuhr durch die Lecithinbeimengung zum Boden kaum eine Veränderung. Nach 30 und 60 Tagen wurde das Pflanzenmaterial geerntet und anschließend folgende Bestimmungen durchgeführt:

1) Ertragsbestimmungen

Aus Tabelle 7 geht hervor, daß nach dem ersten Schnitt (Anzucht 30 Tage) der Ertrag pro Gefäß sowie die Trockengewichte und Wassergehalte keine nennenswerten Unterschiede bei lecithin-gedüngten und -ungedüngten Pflanzen aufwiesen. Das Trockengewicht der Forstgartenpflanzen war etwas geringer als das von Pflanzen, die in die Trumaos eingesät worden waren (Einsaat in gleichwertige Bodenhorizonte vorausgesetzt). Nach dem zweiten Schnitt (Aufwuchs insgesamt 60 Tage) nahm die Trockensubstanz von *Holcus* auf den chilenischen Böden leicht ab, während die der Pseudogley-Gräser etwas anstieg.

2) Proteingehalt

Der Proteingehalt von *Holcus* war nach dem ersten Schnitt am höchsten in dem San Francisco-Boden, sofern zum Boden Lecithin zugegeben worden war (Abb. 12a). Ohne eine Inkubation des erwähnten N- und P-reichen Materials blieben die Werte sehr viel niedriger. Dieser Befund galt für die 3 chilenischen Böden (POR, PUN und FCO), nicht aber für die Pflanzen auf dem Pseudogley des Forstgartens. Bei diesen besaßen

Tabelle 7: Ertrag, Trockensubstanz und Wassergehalt von *Holcus lanatus*-Pflanzen nach dem ersten und zweiten Schnitt

Standort u. Boden- tiefen cm	Leci- thin- düngung	Erster Schnitt Ertrag/Gefäß			Zweiter Schnitt Ertrag/Gefäß		
		frisch	trock- ken	Trock- engew. %	frisch	trock- ken	Trock- engew. %
POR	0 - 5	ohne	4,3	0,61	14,20	5,4	0,64
		mit	4,2	0,62	14,90	5,2	0,60
	5 - 10	ohne	4,2	0,55	13,30	5,3	0,68
		mit	4,4	0,61	14,00	5,3	0,65
	10 - 15	ohne	3,8	0,49	13,00	4,9	0,66
		mit	3,9	0,53	13,60	4,8	0,64
PUN	0 - 5	ohne	3,5	0,50	14,50	5,3	0,73
		mit	3,6	0,53	14,90	5,2	0,66
	5 - 10	ohne	3,1	0,43	13,90	5,2	0,64
		mit	3,2	0,45	14,30	5,1	0,60
	10 - 15	ohne	2,9	0,38	13,30	4,9	0,55
		mit	2,9	0,39	13,70	4,9	0,53
FCO	0 - 5	ohne	4,3	0,60	14,00	5,8	0,70
		mit	4,4	0,62	14,30	5,6	0,63
	5 - 10	ohne	4,2	0,57	13,70	5,7	0,86
		mit	4,1	0,57	14,00	5,5	0,74
	10 - 15	ohne	3,9	0,51	13,10	5,3	0,69
		mit	3,8	0,50	13,40	5,2	0,67
FOR	0 - 5	ohne	4,5	0,60	13,50	5,9	0,88
		mit	4,5	0,58	13,00	5,9	0,78
	5 - 10	ohne	4,5	0,55	12,30	5,8	0,77
		mit	4,3	0,53	12,50	5,7	0,75
	10 - 15	ohne	4,0	0,46	11,50	5,4	0,72
		mit	3,9	0,44	11,50	5,3	0,71

gerade die lecithin-frei gehaltenen holcus-Pflanzen den höchsten Gehalt an Protein-Stickstoff. Aus diesen gegensätzlichen Ergebnissen muß gefolgert werden, daß die Mineralisation des N aus dem inkubierten Lecithin in den Trumaos intensiver als im Forstgarten-Boden war. MUNSON und STANDFORD (1955) fanden eine Korrelation zwischen der N-Aufnahme ihrer Testpflanzen und der Nitratsnachlieferung durch Mineralisation. HANGWAY und DUMENIL (1955) sind der Ansicht, daß die Korrelation zwischen N-Gehalt der Pflanze und Mineralisierung des Stickstoffs eine Prognose über die Düngerbedürftigkeit eines Bodens ermöglicht.

Konträr zu den N-Ergebnissen stehen die noch zu schildernden Befunde über den P-Gehalt von Holcus: die lecithin-freien Anzuchten wiesen höhere P-Werte als die auf lecithinhaltigem Boden aufgewachsenen Pflanzen auf (Abb. 13a). Demnach müßte für die Mikroorganismen in den Trumaos nicht der Stickstoff, sondern der Phosphor der begrenzende Faktor gewesen sein. Der bei der Mineralisation aus Lecithin anfallende N wurde demnach den höheren Pflanzen zur Verfügung gestellt, der freigesetzte Phosphor aber von den Mikroben zum Aufbau eigener Zellsubstanz gebraucht.

Abbildung 12b stellt die Proteinwerte von Holcus nach dem 2. Schnitt dar. Aus diesen Graphiken wird recht deutlich, daß nach dieser Ernte sowohl die Gräser auf dem Pseudogley als auch auf den Trumao-Proben gleichermaßen auf lecithin-freien Substraten höhere Proteinwerte besaßen. Die nach dem 1. Schnitt bestandene Überlegenheit der Proteinwerte der San Francisco-Pflanzen gegenüber den übrigen Pflanzenproben bestand nicht

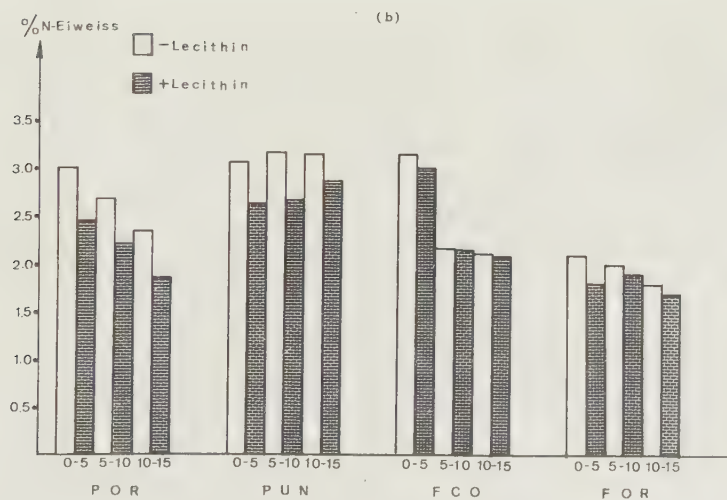
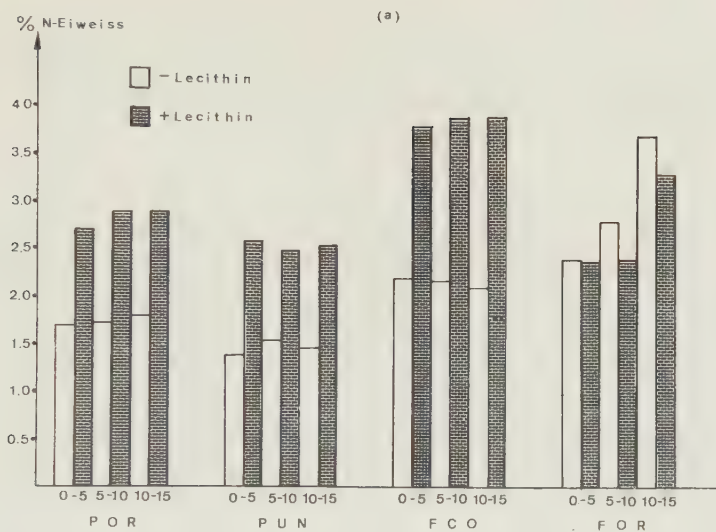


Abb. 12: Proteingehalt von *Holcus lanatus* auf verschiedenen Böden nach dem ersten (a) und dem zweiten (b) Schnitt

mehr, auch war der Proteingehalt gerade bei den auf dem FCC- und FOR-Boden stockenden Pflanzen merklich abgesunken.

Der Proteingehalt der Forstgarten-Pflanzen war nach dem 2. Schnitt am niedrigsten, der auf den Bodenproben von Punahue und San Francisco gewachsenen am höchsten. Die beiden letztgenannten Böden wiesen ein bedeutend engeres C/N-Verhältnis als der Forstgarten-Boden auf. HARMSEN und VAN SCHEREN (1955), WITTICH und MAINZHAUSEN (1956), BROADBEND und TYLER (1965) sowie ALEXANDER (1967) machen Angaben über die enge Beziehung zwischen dem C/N-Verhältnis und der Nachlieferung von Mineralstickstoff aus einer dem Boden zugefügten organischen N-Quelle. Die Geschwindigkeit der N-Mineralisation ist nach den Genannten um so höher, je enger die C/N-Relation ausfällt.

Wie schon erwähnt, enthielten die eingesäten Gräser nach dem 2. Schnitt mehr Protein, sofern dem Boden kein Lecithin zugefügt worden war. Vermutlich hatte in den lecithinhaltigen Bodenproben inzwischen eine rasche Vermehrung der Mikroorganismen eingesetzt. Zur Deckung ihres Eigenbedarfs werden diese aber in gesteigertem Umfang den freigesetzten Stickstoff zum Aufbau eigener Eiweiße verbrauchen und damit den höheren Pflanzen immer weniger dieses Elementes zur Verfügung gestellt haben.

Nach HANGWAY und DUMENIL (1955) und GALLAGER (1966) kann der N- oder Proteingehalt von Pflanzen als Kriterium für die Stickstoffversorgung eines Bodens dienen. Aus den hier vorliegenden Ergebnissen ist zu folgern, daß bei dem 1. Schnitt die Mineralisierungsprozesse in den Trumao-Proben ohne zusätzliche Lecithin-Düngung etwas schlechter als in dem Pseudogley waren; nach dem 2. Schnitt war die Verfügbarkeit des Stickstoffs offenbar in den Trumaos besser (Tabelle 1).

Tabelle 8: Protein in % des Trockengewichtes der *Holcus lanatus* Sprosse nach dem ersten und zweiten Schnitt.

	Standort u. Bodentiefe cm	Lecithin- dünnung	Erster Schnitt		Zweiter Schnitt			
			Protein % T.G.		Protein % T.G.			
FOR	0 - 5	ohne mit	1,70 2,74 ++	3,00 2,42 ++	Signifikanz			
			5 - 10	ohne mit	1,79 2,90 ++	2,54 2,20 ++	Signifikanz	
					10 - 15	ohne mit	1,80 2,90 ++	2,32 1,85 ++
	0 - 5	ohne mit					1,40 2,60 ++	3,05 2,61 ++
			5 - 10	ohne mit			1,58 2,50 ++	3,18 2,65 ++
					10 - 15	ohne mit	1,58 2,55 ++	3,16 2,58 ++
	0 - 5	ohne mit					2,20 3,80 ++	3,17 3,07 ++
			5 - 10	ohne mit			2,19 3,80 ++	2,16 2,16 -
					10 - 15	ohne mit	2,10 3,90 ++	2,11 2,09 ++
FOR	0 - 5	ohne mit					2,40 2,38 -	2,10 1,80 ++
			5 - 10	ohne mit			2,80 2,40 -	2,00 1,90 ++
					10 - 15	ohne mit	3,70 3,30 -	1,80 1,70 ++
	G.D. 5.11. =						(++) (++) (-) 0,425	(++) 0,032
	G.D. 1.12. =		0,555	0,011				

3) Gesamtposphor

In Abbildung 13a und 13b sind die P-Gehalte der mit und ohne Lecithin aufgewachsenen Pflanzen nach dem ersten und zweiten Schnitt graphisch dargestellt. Nach Abbildung 13a war nach einmonatiger Anzucht der P-Gehalt in den Pflanzen, die auf Böden ohne Lecithin-Zugabe wuchsen, höher als in solchen, die auf lecithinhaltigen Substraten stockten. Der Phosphorgehalt von holcus-Pflanzen, die auf ursprünglich tiefer gelegenen Bodenhorizonten eingesät worden waren, nahm mit der Schichttiefe hin im allgemeinen zu. Dieser Effekt war unabhängig von einer Lecithin-Zugabe. Aus diesem Resultat läßt sich folgern, daß durch Lecithin-Inkubation offenbar eine starke Vermehrung der Phosphor mobilisierenden Mikroorganismen eintritt, die Mikroben aber zunächst zur Synthese ihrer Zellsubstanz selbst einen so hohen Phosphorbedarf haben, daß daher keine Zulieferung für die höheren Pflanzen erfolgt (KAILA 1952 - 1954). Bei längerem Verbleiben des Lecithins im Boden, d.h. nach dem zweiten Schnitt (60 Tage), besaßen dagegen die holcus-Pflanzen den höchsten Phosphorgehalt, die auf lecithinhaltigem Substrat wuchsen (Abb. 13b und Tab. 9). Demnach war zu diesem Zeitpunkt der Phosphorbedarf der Mikroorganismen bereits gedeckt, und es konnte mobilisiertes Phosphat den Gräsern zur Verfügung gestellt werden.

Im Gegensatz zu den geschilderten Ergebnissen ließ sich in Brutversuchen mit den Trumaos nach einem 42-tägigen Zeitraum unabhängig von einem Lecithin-Zusatz kein laktatlösliches Phosphat finden. Es hatte demnach hier eine Phosphor-Immobilisation stattgefunden. Der gegensätzliche Befund zwischen Brut- und Kulturversuch mit holcus-Pflanzen in den gleichen Böden deutet darauf hin,

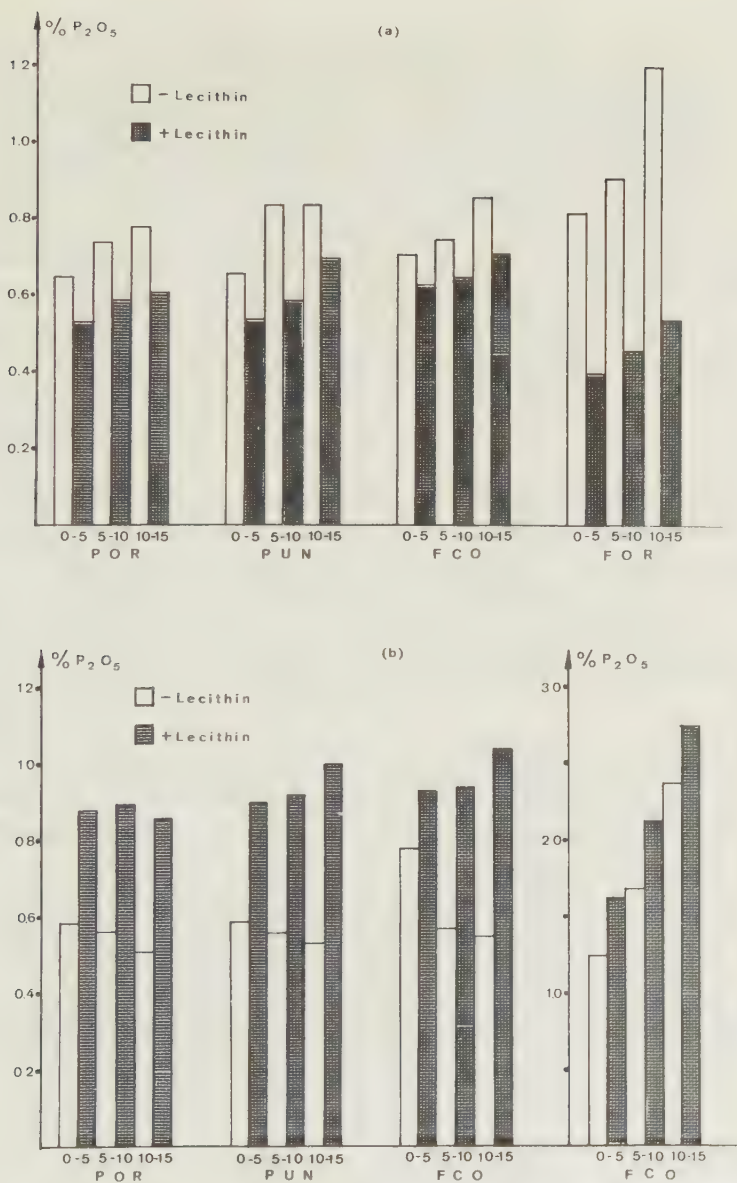


Abb. 13: Phosphorgehalt von *Holcus lanatus* auf verschiedenen Böden nach dem ersten (a) und dem zweiten (b) Schnitt

Tabelle 9: Phosphorgehalt der *Molcus lanatus* Sprosse
nach dem ersten und zweiten Schnitt

Standort u. Bodentiefe cm		Lecithin- düngung	Phosphor % 1.Schnitt	Trockengewicht 2.Schnitt	
POR	0 - 5	ohne	0,65	0,58	
		mit	0,54	0,88	
			++	++ Signifikanz	
		5 - 10	ohne	0,74	0,56
	mit		0,59	0,89	
			++	++ Signifikanz	
		10 - 15	ohne	0,78	0,51
	mit		0,61	0,85	
			++	++ Signifikanz	

	PUN	0 - 5	ohne	0,66	0,59
			mit	0,54	0,90
			++	++ Signifikanz	
		5 - 10	ohne	0,84	0,56
mit			0,59	0,92	
			++	++ Signifikanz	
		10 - 15	ohne	0,84	0,54
mit			0,70	1,00	
			++	++ Signifikanz	

FCO		0 - 5	ohne	0,71	0,78
			mit	0,63	0,93
			++	- Signifikanz	
		5 - 10	ohne	0,76	0,57
	mit		0,65	0,94	
			++	++ Signifikanz	
		10 - 15	ohne	0,86	0,55
	mit		0,71	0,99	
			++	++ Signifikanz	

	FOR	0 - 5	ohne	0,82	1,20
			mit	0,40	1,60
			++	++ Signifikanz	
		5 - 10	ohne	0,91	1,65
mit			0,46	2,10	
			++	++ Signifikanz	
		10 - 15	ohne	1,12	2,40
mit			0,54	2,70	
			++	++ Signifikanz	

			(++)	(++)	
G.D. 5 % =			0,02	0,178	
G.D. 1 % =			0,03	0,236	

daß außer dem Edaphon die Rhizosphäre selbst eine besondere Rolle spielen könnte. FLAIG und KAUL (1955) berichteten, daß die Wurzeln von Getreidepflanzen Ectofermente absondern, die aus organisch gebundenem Phosphor Phosphorsäure freisetzen. KICKUTH (1960) untersuchte das Löslichkeitsverhalten von Phosphorsalzen in Gegenwart organischer exkretierter Verbindungen aus dem Wurzelraum von *Medicago* und *Melilotus*. Die ausgeschiedenen Oxy-Carbonsäuren vermögen beträchtliche Mengen von Calcium-, Aluminium- und Eisen-Phosphaten zu lösen. Ebenso wirkt Kohlensäure als phosphatlösendes Agens (MEYER 1949).

In Übereinstimmung mit unseren zuvor geschilderten Brutversuchen stehen die Befunde über den Phosphorgehalt von *Holcus* auf Forstgarten-Boden (Tab.5). Diese Bodenproben besaßen im Laborversuch die beste Phosphor-mineralisationsrate und die auf diesen Bodenproben im Gewächshaus ausgesäten Pflanzen die höchsten Phosphorgehalte (Abb. 13a, 13b und Tab.9).

Von den auf den Trumaos aufwachsenden *Holcus*-Pflanzen besaßen die auf FCO stockenden Gräser den höchsten Phosphor-Gehalt. Diese Bodenproben wiesen mit pH 5,5 in dem oberen Horizont (0 - 5 cm Tiefe) auch die geringste Azidität auf. Bekannt ist der Einfluß des pH-Wertes auf Mineralisationsvorgänge (AQUAYE 1963). HALSTEAD (1964) berichtete, daß mit der Verminderung der H-Ionen-Konzentration im Boden die Mikroorganismen-Population dichter wurde und damit zugleich eine Erhöhung an anorganischem Phosphor im Boden auftrat.

Tabelle 10: N/P-Quotienten in *Holcus lanatus* nach dem ersten und zweiten Schnitt

	Standort u. Bodentiefe cm	Lecithin- düngung	Erster Schnitt	Zweiter Schnitt
			N/P	N/P
POR	0 - 5	ohne	3,5	4,8
		mit	7,4	3,4
			++	++ Signifikanz
	5 - 10	ohne	3,1	4,2
		mit	6,8	3,0
			++	++ Signifikanz
	10 - 15	ohne	3,0	3,0
		mit	6,6	2,2
			++	++ Signifikanz

	0 - 5	ohne	3,2	5,8
		mit	7,4	3,4
			++	++ Signifikanz
PUN	5 - 10	ohne	2,4	3,8
		mit	5,9	3,3
			++	+ Signifikanz
	10 - 15	ohne	2,3	6,3
		mit	4,3	3,0
			+	++ Signifikanz

	0 - 5	ohne	4,9	4,6
		mit	8,2	3,9
			++	++ Signifikanz
	5 - 10	ohne	4,7	4,3
		mit	8,1	2,7
			++	+ Signifikanz
FCO	10 - 15	ohne	6,4	4,1
		mit	5,0	2,4
			++	++ Signifikanz

	0 - 5	ohne	3,6	2,1
		mit	7,5	1,4
			++	+ Signifikanz
	5 - 10	ohne	3,6	1,4
		mit	6,0	1,0
			++	+ Signifikanz
	10 - 15	ohne	4,0	0,9
		mit	6,8	0,7
			++	- Signifikanz

G.D. 5 % =			2,0	0,4
G.D. 1 %			2,5	0,8

4) Stickstoff / Phosphorverhältnis in den Pflanzen

In der Tabelle 10 sind die Werte für das N/P-Verhältnis der untersuchten *Holcus lanatus*-Pflanzen aufgeführt. Nach den Untersuchungen von BROESHART und SCHOUWENBURG (1961) an Hafer dient der N/P-Quotient zur Diagnose für etwaigen Stickstoff- und Phosphor-Mangel im Boden. So deutet z.B. der Quotient $N/P = 1,5 - 3$ auf einen N-Mangel, $N/P = 20 - 30$ auf ein Phosphor-Defizit hin, während $N/P = 6$ ausreichende Versorgung mit diesen beiden lebensnotwendigen Elementen angibt.

Wie aus den in Tabelle 10 eingetragenen Werten hervorgeht, lag der N/P-Quotient für alle *Holcus*-Pflanzen nach dem ersten Schnitt ohne Lecithinzugabe zum Boden niedriger, nach dem zweiten Schnitt dagegen höher als nach einer Inkubation mit dem genannten Material. Ohne Lecithin wiesen die Gräser nach 1 Monat N/P-Werte um 4 auf (3,0 - 4,9), während für den gleichen Zeitraum mit Lecithinzugabe zum Boden *Holcus* N/P-Werte um 6 (4,3 - 7,4) besaß.

5) Di- und Monosaccharidgehalt von *Holcus*

Die Untersuchungsergebnisse für die genannten Kohlenhydrate nach dem ersten Schnitt des Grases sind in der Tabelle 11 enthalten. Hiernach war bei fast allen mit Lecithinzusatz aufgewachsenen Pflanzen nach dem ersten Schnitt der Disaccharidgehalt und dadurch auch der Gesamtzuckergehalt erhöht. Der Monosaccharidgehalt der Lecithin-Variante fiel im allgemeinen etwas niedriger als der Lecithin-freie aus. Das Di-/Monosaccharid-Verhältnis war bei den ohne Lecithin ernährten Gräsern

Tabelle 11: Monosaccharid, Disaccharidgehalt in % des Trockengewichtes sowie das Verhältnis von Disaccharid zu Monosaccharid der *Holcus lanatus*-Pflanzen nach dem ersten und zweiten Schnitt

		Erster Schnitt			
Standort u. Bodentiefen	Lecithin- düngung	Monosacch. % T.G.	Disacch. % T.G.	Disacch./Monosac. % T.G.	
FOR	0 - 5	ohne mit	1,54 1,32	1,83 2,40	1,18 1,80 ++
	5 - 10	ohne mit	1,44 1,28	1,69 2,10	1,17 1,63 ++
	10 - 15	ohne mit	1,52 1,39	1,54 2,00	1,01 1,43 +

	0 - 5	ohne mit	1,02 0,91	1,17 1,27	1,14 1,38 -
	5 - 10	ohne mit	1,08 0,94	1,20 1,22	1,11 1,29 -
FCO	10 - 15	ohne mit	0,94 1,14	1,12 1,21	1,18 1,06 -

	0 - 5	ohne mit	0,89 0,82	1,03 1,14	1,16 1,38 -
	5 - 10	ohne mit	0,95 0,92	1,08 1,18	1,13 1,28 -
	10 - 15	ohne mit	0,95 0,98	0,97 1,06	1,01 1,08 -

FOR	0 - 5	ohne mit	1,30 1,20	1,30 2,00	1,00 1,66 ++
	5 - 10	ohne mit	1,60 1,20	1,50 1,90	0,93 1,58 ++
	10 - 15	ohne mit	1,30 1,20	1,00 1,70	0,76 1,42 ++

	G.D. 5 % = 0,322				
	G.D. 1 % = 0,434				

Fortsetzung Tabelle 11

	Zweiter Schnitt		
	Monosaccharid	Disaccharid	Disacch./Monosacch.
	% T.G.	% T.G.	% T.G.
POR	1,46	1,66	1,13
	1,34	1,32	0,98
			++ Signifikanz
	1,42	1,62	1,14
	1,13	1,05	0,92
			++ Signifikanz
	1,43	1,69	1,18
	1,02	0,88	0,86
			++ Signifikanz
	1,15	1,16	1,01
PUN	1,16	1,08	0,93
			++ Signifikanz
	1,36	1,49	1,09
	1,29	1,05	0,81
			++ Signifikanz
	1,51	1,75	1,15
	1,15	0,82	0,71
			++ Signifikanz
	1,34	1,34	1,00
	0,91	0,57	0,62
FCO			++ Signifikanz
	1,14	1,18	1,04
	0,80	0,61	0,75
			++ Signifikanz
	1,36	1,44	1,02
	1,00	0,72	0,71
			++ Signifikanz
	1,40	1,35	0,96
	1,20	1,10	0,91
			++ Signifikanz
FOR	1,30	1,10	0,84
	1,25	1,00	0,81
			+ Signifikanz
	1,20	0,90	0,75
	1,15	0,80	0,69
			++ Signifikanz
G.D. 5 % =			0,0241
G.D. 1 % =			0,0321

niedriger als bei den Lecithin-gedüngten. Die insgesamt niedrigsten Di/Monosaccharid-Quotienten wiesen die FOR-Pflanzen ohne Lecithin auf. Die genannten Unterschiede waren signifikant oder hoch signifikant.

Nach dem zweiten Schnitt lagen die Disaccharid- und Gesamtzuckergehalte bei den Lecithin-ernährten Pflanzen niedriger als bei den Lecithin-freien. Der Monosaccharidgehalt war bei den mit Lecithinzusatz aufgewachsenen Pflanzen etwas geringer, das Di/Monosaccharid-Verhältnis niedriger.

Vergleicht man diese Befunde mit den Ergebnissen über den P-Gehalt in den Gräsern nach 30 (erster Schnitt) und 60 Tagen (zweiter Schnitt), so war der Disaccharidgehalt bzw. der Quotient Di/Monosaccharid um so höher, je weniger Phosphor die Pflanzen enthielten. So wiesen die auf dem Pseudogley aus 10 - 15 cm Tiefe stockenden Gramineen nach dem ersten Schnitt bei höchstem P-Gehalt (1,12 %) zugleich auch die niedrigste Di/Monosaccharid-Relation (0,76) auf. Für den entsprechenden Bodenhorizont aus San Francisco betrug der Di/Monosaccharid-Quotient von *Holcus* 1,01 bei einem P-Gehalt von 0,82 %.

Nach dem zweiten Schnitt enthielten die Pflanzen in den Varianten mit Lecithin mehr Phosphor, gleichzeitig war aber auch das Di/Monosaccharid-Verhältnis niedriger. Diese Ergebnisse entsprechen den Befunden einer Reihe von Autoren (BEHRENS 1939-1955, EATON 1949, ECKMERSON 1931, Mc GILLIVARY 1927 und SINGH 1968), die bei P-Düngungsversuchen mit verschiedenen Pflanzenarten eine Anhäufung von Zucker in Blättern bei Phosphormangel diagnostizierten. PANDEY und RANJAN (1964), SCHULZ (1965) fanden

bei ungenügend mit Phosphor versorgten Pflanzen stets einen erhöhten Disaccharidgehalt.

6) Osmotische Werte von Holcus

Aus Tabelle 12 sind die osmotischen Werte der auf den verschiedenen Substraten wachsenden Gräser zum Zeitpunkt des ersten und zweiten Schnittes ablesbar.

Bei der ersten Ernte lagen die osmotischen Werte für den Preßsaft der Lecithin-freien Kulturen geringfügig unter den Lecithin-versorgten Vergleichspflanzen. Die Gräser, die auf dem Boden aus San Francisco oder dem Forstgarten wuchsen, wiesen die tiefsten osmotischen Werte auf. Demnach ergaben sich dort die niedrigsten Saugkräfte, wo die P-Gehalte am höchsten waren.

Nach dem z w e i t e n S c h n i t t kehrten sich die Relationen um, d.h. die höheren osmotischen Werte wurden für Pflanzen aus den Lecithin-freien Böden gemessen.

7) Skleromorphie-Untersuchungen

Um der Bedeutung des Phosphors für eine etwaige Skleromorphie-Ausprägung bei Holcus nachzugehen, wurden in einer besonderen Versuchsserie Samen in Bodenproben vom Standort San Francisco und vom Forstgarten ausgesät. Den zu Beginn der Versuche auf organische Substanz, Phosphor und Stickstoff analysierten Proben wurden nun entweder anorganische Phosphorsalze zugefügt (FCO), oder es dienten abgeschnittene, zerkleinerte und in den Boden eingebrachte Holcus-Pflanzen als organische P-Quelle (FOR). Die letztgenannte Versuchsserie diente als Modell für Mineralisierungsvorgänge im Boden nach einem Grünland-Umbruch.

Tabelle 12: Osmotischer Wert von *Molcus lanatus*-Pflanzen nach dem ersten und zweiten Schnitt

Standort u. Bodentiefe cm	Lecithindüng.	Osmotischer Wert atm.	
		1. Schnitt	2. Schnitt
FOR 0 - 5	ohne	8,218	10,201
	mit	10,110	9,998
		++	- Signifikanz
	ohne	9,119	10,720
	mit	10,251	9,200
		++	++ Signifikanz
10 - 15	ohne	9,000	11,212
	mit	10,393	9,502
		++	++ Signifikanz
	ohne	8,125	10,270
	mit	9,985	9,832
		++	++ Signifikanz
PUN 5 - 10	ohne	9,100	10,076
	mit	9,895	9,544
		++	++ Signifikanz
	ohne	9,095	11,968
	mit	9,300	9,283
		++	++ Signifikanz
FCO 0 - 5	ohne	8,915	10,585
	mit	8,901	9,856
		-	- Signifikanz
	ohne	8,648	10,281
	mit	8,975	9,702
		++	- Signifikanz
10 - 15	ohne	8,598	11,880
	mit	8,775	9,200
		++	++ Signifikanz
FOR 0 - 5	ohne	8,402	9,955
	mit	8,313	8,923
		++	++ Signifikanz
	ohne	8,210	9,327
	mit	8,311	8,307
		++	++ Signifikanz
10 - 15	ohne	8,110	9,040
	mit	8,250	8,114
		++	+ Signifikanz
G.D. 5 % =		0,044	0,721
G.D. 1 % =		0,006	0,950

a) Skleromorphie in Abhängigkeit von der Düngung mit anorganischem Phosphat

In Tabelle 13 sind die Analysenwerte für *Holcus* eingetragen, die Aufschluß über den Skleromorphiegrad ermöglichen. Im ungedüngten Substrat (Düngungsstufe 0) war das Sproßgewicht gering, stieg mit Düngungsstufe A zu B an, während das Wurzelgewicht in umgekehrter Reihenfolge absank. Daher wies auch der Quotient Sproß/Wurzel im ungedüngten Boden einen geringeren Wert als im gedüngten auf. Der osmotische Wert des Zellsaftes lag bei den ungedüngten Proben geringfügig über dem der mit Phosphor besser versorgten Pflanzen. Deutliche Unterschiede ergaben sich für den Rohfaser- und Proteingehalt der Gräser. Diese Werte besaßen ihrerseits eine gute Korrelation zu dem jeweiligen Phosphorgehalt von *Holcus*: je geringer der P-Gehalt im Gras, desto niedriger war die Menge an Rohprotein, desto höher der Gehalt an Rohfaser. Die Berechnung des Skleromorphie-Index ergab die höchsten Werte (140) bei den ungedüngten Pflanzen, die niedrigsten (62) bei denen der besten Düngungsstufe, während ein Index von 97 auf die mäßig P-versorgten Gräser fiel.

b) Skleromorphie in Abhängigkeit von der Mobilisierung organischen Phosphats

Es hatte sich in den zuvor geschilderten Untersuchungen herausgestellt, daß *Holcus* sehr stark auf die jeweilige Versorgung des Bodens mit anorganischem (laktatlöslichem) Phosphat reagiert. Geprüft werden sollte nun, ob und in welchem Umfang die Pflanze in der Lage ist, den mit abgestorbenen *Holcus*-Gräsern wieder in den Boden gelangenden organischen Phosphor nach Mineralisierung

Labelle 13: Skleromorphie-Kriterien von Holcus lanatus-Kulturen nach unterschiedlicher Düngung auf Yrmao von San Francisco-Boden. Bodencharakteristik: organische Substanz = 17,2 %, Gesamtstickstoff 0,5 %, laktatlöslicher Phosphor 2,5 mg %, Düngungsstufe 0 = keine, A = 15 mg, B = 30 mg Na_2HPO_4 /100 g lufttrockener Boden.

Düngungs- stufe	Sklero- morphie- Index	Rohprotein % T.G.	Phosphor % T.G.	Rohfaser % F.G.	Wurzel- trockengew. g	Sproß- trocken- gewicht g	Sproß- wurzel	Osmoti- scher Wert atm.
0	140,0	13,10	0,65	18,27	0,19	0,30	1,55	9,169
A	97,0	15,54	0,76	15,33	0,15	0,42	2,80	8,796
B	62,5	21,29	0,99	13,31	0,11	0,52	4,70	8,738
Signifikanz	++	+	+	+	+	++	++	++
G.D. 5 % =	10,55	1,67	0,09	2,64	0,04	0,006	0,40	0,03
G.D. 1 % =	14,90	2,36	0,13	3,73	0,09	0,012	0,90	0,05

Tabelle 14: Skleromorphie-Kriterien von *Holcus lanatus*-Kulturen mit und ohne Inkubation von *Holcus*-Streu auf Pseudogley vom Forstgarten. Bodencharakteristik: organische Substanz 7,7 %, Gesamtstickstoff 0,2 %, laktatischer Phosphor 3,2 mg %. Dünungsstufe 0 = keine, A = Zugabe von Streu = 40 mg P_2O_5 / 100 g Trockenboden

Dünungs- stufe	Sklero- morphie- Index	Rohprotein % N.G	Phosphor % N.G.	Rohfaser % T.G.	Wurzel- trocken- Gewicht g	Sproß- trocken- Gewicht g	Sproß Wurzel	Osmot. Wert atm.
0	125,77	12,70	0,70	15,63	0,32	0,78	2,43	8,737
A	90,66	15,55	1,25	14,15	0,21	1,18	5,60	8,516
Signifikanz	+	-	++	++	+	++	++	++
G.D. 5 %	26,72	3,90	0,20	0,54	0,09	0,12	1,72	0,06
G.D. 1 %	40,47	5,90	0,30	0,82	0,12	0,23	2,30	0,08

erneut aufzunehmen und damit wieder in den P-Kreislauf einzubeziehen.

Nach Tabelle 14 trat durch eine Beimengung von zerkleinerten Gräsern zum Boden in *Holcus* eine beachtliche Erhöhung des Phosphorgehaltes auf, die den Anstieg durch anorganische Düngung im vorigen Versuch sogar noch übertraf. Die Ausnutzung der P- und N-Reserven aus dem eingegrabenen organischen Material machte sich durch die Erhöhung des Trockengewichtes der Sprosse bei gleichzeitiger Verringerung des Wurzelgewichtes bemerkbar, ebenso im Rückgang des Rohfaseranteils und der Steigerung des Proteingehaltes. Dementsprechend sank durch die Inkubation von *Holcus*-Streu der Skleromorphie-Index ab.

Abbildung 14 gibt noch einmal einen Überblick über die Ergebnisse dieser Skleromorphie-Untersuchungen. Eindeutig geht daraus hervor, daß sowohl durch anorganisches Phosphat als auch durch Gründüngung mit *Holcus* nicht nur der Phosphorgehalt, sondern auch der Gehalt an Rohprotein anstieg. Als gemeinsames Fazit der unter a und b aufgeführten Skleromorphie-Untersuchungen ergibt sich, daß P-Mangel bei *Holcus lanatus* zu Peinomorphosen führt.

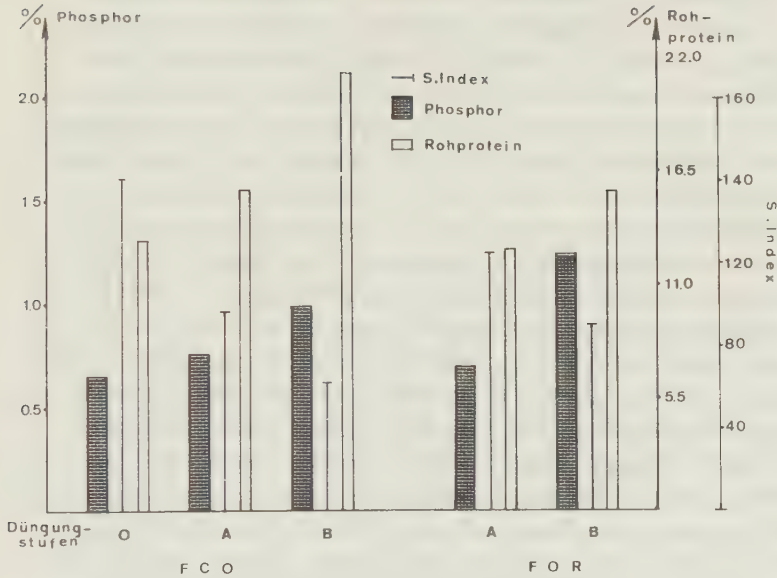


Abb.14: P- und Rohprotein-Gehalt sowie Skleromorphie-Index der auf dem FCO und FOR gezogenen *Holcus*-Pflanzen

V. Diskussion der Ergebnisse

Ziel der hiermit vorgelegten Untersuchungen war, Wiesenböden verschiedener Herkunft chemisch zu charakterisieren und Aussagen über die Verfügbarkeit von Stickstoff und Phosphor und damit über deren mikrobiell bedingte Mineralisierungsintensität zu gewinnen. Insbesondere interessierte auch, in welchem Umfang organisches Material, das z.B. alljährlich mit dem Absterben der Pflanzen im Boden anfällt, mikrobiell abgebaut und damit pflanzenverfügbar wird. Als Modellsubstanzen für solche Mineralisationen wurden Pepton und Lecithin gewählt. Die mikrobielle Verwertung von Pepton ist seit langem bekannt (POCHON und TARDIEUX 1962). KOBUS (1962) berichtete, daß der Abbau von Lecithin durch Bodenbakterien zum Calciumglycerophosphat führt. PICCI (1952) führt an, daß Bakterien sowohl Natriumglycerophosphat als auch Lecithin als P-Quelle nutzen können. SZEMBER (1960) isolierte nach Beimpfung eines Phytin und Lecithin enthaltenden Nährbodens insgesamt 20 Lecithin-zersetzende Mikroorganismen. Demnach konnte damit gerechnet werden, daß je nach der vorhandenen Bodenaktivität ein Angriff auf die hier als Testsubstanzen gewählten Verbindungen stattfinden würde.

Die jeweilige Nährstoffnachlieferung eines Bodens spiegelt sich im Wachstum und in ökophysiologischen Kriterien der Vegetation wider. *Holcus lanatus*-Kulturen auf den verschiedenen Untersuchungsböden dienten zum Studium über die Nährstoffbelieferung mit N und P und deren Verwertung. Besondere Beachtung fand das Auftreten skleromorpher Merkmale im Zusammenhang mit der Phosphorversorgung.

Insgesamt erwiesen sich die drei aus Chile stammenden Trumaos als reich an organischer Substanz (16-30 %) und damit auch an Gesamt-N und Gesamt-P, wobei die organischen Bindungen dieser beiden Elemente für unsere Fragestellung eine besondere Bedeutung hatten. Der Pseudogley aus dem Giessener Forstgarten unterschied sich von den Trumaos durch etwas höhere Azidität und geringere Mengen an Humus sowie an Gesamt-N und -P. Im Zusammenhang mit dem tieferen pH-Wert stand, daß im Pseudogley der NH_4 -Gehalt höher, der NO_3 -Anteil niedriger in den entsprechenden Horizonten der Trumaos war. Ein weiterer Unterschied zwischen den Trumaos und dem Pseudogley lag darin, daß der Laktatauszug aus den Trumaos bedeutend geringere Phosphormengen als die Extrakte aus dem Pseudogley enthielten. Dieses Ergebnis stimmt allerdings nicht mit den Angaben von AQUAYE (1963) und HALSTEAD (1964) überein: nach diesen Autoren soll sich nämlich der Laktat-Phosphor-Anteil mit steigendem pH erhöhen. Bei einem Vergleich zwischen unseren Trumaos und dem Pseudogley überwog der laktatlösliche Phosphor jedoch in dem etwas saureren Pseudogley.

Tabelle 15: Schematische Darstellung der Nährstoffgehalte und der Nachlieferung von N und P in Trumaos und Pseudogley. (Auswertung der Mineralisation nach 6 Wochen.) Die Dicke der Pfeile und deren Richtung zeigt die Größenunterschiede an.

a) Chemische Charakteristik

Bodentyp	pH	org. Substanz	Gesamt-N	NO_3^-	NH_4^+	Gesamt-P	laktatlösl. P
Trumaos							
Pseudogley							

Tabelle 15 (Fortsetzung)

b) Mineralisation

	org. Sub- stanz	N-Mineralisation		P-Mineralisation	
		boden- eigene Subst.	Pepton	boden- eigene Subst.	Lecithin
Trumaos					
Pseudogley					

Es genügt nun aber nicht zur Beurteilung der Nährstoffversorgung einer Pflanze das Nährstoffpotential eines Bodens zu kennen, sondern es muß auch die Mineralisierungsintensität von lebenswichtigen, jedoch direkt nicht pflanzenverfügbaren Elementen bekannt sein. Die Mineralisierungsrate wird vor allem dort eine Rolle spielen, wo N und P nicht in ausreichender löslicher Form im Boden vorhanden sind. Es war damit zu rechnen, daß die Mineralisation der beiden genannten Elemente in den humusreicheren Trumaos höher als im Pseudogley ausfiel, während eine zusätzlich in den Boden eingebrachte N-(Pepton) und P-(Lecithin) reiche organische Substanz besonders intensiv in den Kohlenstoffärmeren Böden abgebaut werden würde. Diese Vermutung traf zu bis auf die P-Mineralisierung bodeneigenen Materials. Diese vermag sich - wie bereits ausgeführt - nicht nur auf die organischen Phosphorverbindungen zu erstrecken, sondern auch auf schwer lösliche anorganische Phosphate. Diese wurden offenbar bei den gewählten Versuchsbedingungen besser in die laktatlösliche Form überführt als die organischen Verbindungen (EID und Mitarbeiter 1951). Interessant ist in diesem Zusammenhang ein Versuch HIRTzs (1963), in dem er die Mineralisation eisengebundener Phosphorsäure in einem sterilisierten und einem nicht-sterilisierten Boden miteinander verglich. Eindeutig

zeigte sich, daß die Menge an laktatlöslichem Phosphat mit der Mikroorganismenmenge anstieg. Zu ähnlichen Aussagen gelangten bereits STOKLASA (1911) und FEHER und Mitarbeiter (1939).

Auch in unseren Analysen ergab sich ein Abfall der organischen Substanz mit zunehmender Bodentiefe, gleichermaßen ein solcher an Mikroorganismen, und damit fiel auch die Mineralisierungsrate pro Zeiteinheit ab. Als repräsentativ für diese Untersuchungen sind in der Tabelle 16 die entsprechenden Werte für den Portón-Boden (POR) und den Pseudogley (FOR) eingetragen. Sie verdeutlichen die engen Beziehungen zwischen der Größe und Zusammensetzung der Mikroorganismenpopulation und der Mineralisierung organischen Materials (STEINER 1938, THOMPSON und BLACK 1947, GREAVES und Mitarbeiter 1963, KAS 1966).

Tabelle 16: Relativzahlen wichtiger mikrobiologischer Kriterien für einen Trumao (POR) und einen Pseudogley (FOR). (Die Werte für 0 - 5 cm Bodentiefe sind = 100 gesetzt.) *

	Standort u. Bodentiefe cm	org. Subst.	Bak- terien	Aktino- myceten	Pilze	N-Min	P-Min
POR	0 - 5	100	100	100	100	100	100
	5 - 10	85	93	22	69	82	57
	10 - 15	77	35	7	68	66	14
FOR	0 - 5	100	100	100	100	100	100
	5 - 10	74	90	95	68	97	-
	10 - 15	66	56	47	75	69	-

Bewertet man die 3 Trumao-Standorte für sich, so besaß - nach der schematischen Darstellung (Tab.17) - zweifellos der Boden von Portón hinsichtlich der organischen Substanz und deren Mineralisierung die günstigsten, der San Francisco-Boden die schlechtesten Eigenschaften, während der Punahue-Boden eine Mittelstellung einnahm.

* Auswertung der Mineralisation nach 96 Stunden

Tabelle 17: Schematische Darstellung der Nährstoffgehalte und der Nachlieferung von N und P in Trumaos. (Auswertung der Mineralisation nach 6 Wochen.) Die Dicke der Pfeile und deren Richtung zeigt die Größenunterschiede an.

a) Chemische Charakteristik

	org. Subst.	Gesamt-N	NO_3^-	NH_4^+	Gesamt-P	laktat-lösl. P
POR						
PUN						
FCO						

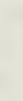
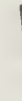
b) Mineralisation

	org. Subst.	N-Mineralisation		P-Mineralisation	
		boden-eigene Subst.	Pepton	boden-eigene Subst.	Lecithin
POR					
PUN					
FCO					

Vergleichende Pflanzenanalysen von *Holcus lanatus*-Anzuchten auf den verschiedenen Böden sollten über die Verfügbarkeit von Stickstoff und Phosphor Aufschluß geben. (Tab 18) Auffällig erscheint zunächst, daß *Holcus* auf den an Gesamt-N und NO_3^- reicheren Trumaos beim 1. Schnitt geringere Proteinwerte als auf dem Pseudogley aufwies. Zweifellos wird der Proteinwert nicht nur allein von der Verfügbarkeit des Stickstoffs beeinflusst, sondern

ebenso von anderen BodenkompONENTEN. Hier lässt sich Liebigs Minimum-Gesetz mit heranziehen, nach dem die Aufnahme einzelner Ionen durch die Konzentration der anderen Nährsalze bedingt wird. So lässt sich der niedrigere Proteingehalt der Trumao-Pflanzen (ohne Lecithin) durchaus mit der geringeren P-Verfügbarkeit dieses Substrates in Verbindung bringen. Nach dem zweiten Schnitt wiesen allerdings die Trumao-Gräser höhere Proteinwerte als die des Pseudogleys auf, wie dies im übrigen bei beiden Ernten für Holcus auf den Lecithin-gedüngten Substraten der Fall war. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, daß beim ersten Schnitt die N/P-Relation im Pseudogley für Holcus günstiger als in den Trumao's war. Beim zweiten Schnitt waren dann die geringen N-Reserven des Pseudogleys weitgehend verbraucht, und dies wirkte sich auch auf die Proteinbildung aus. Die hier mitgeteilten Befunde machen deutlich, wie vielfältig das Beziehungsgefüge zwischen Nährstoffangebot, Bodenbiocönose und höherer Pflanze in Abhängigkeit vom Zeitfaktor ist.

Tabelle 18: Protein- und Phosphorgehalt sowie der Quotient Disaccharid/Monosaccharid von Holcus-Aufzuchten auf einem Trumao und einem Pseudogley

Bodentyp	Proteingehalt				Phosphorgehalt				Di / Mono			
	Schnitt				Schnitt				Schnitt			
	1		2		1		2		1		2	
	-L	+L	-L	+L	-L	+L	-L	+L	-L	+L	-L	+L
Trumao									>1	>1	≥1	<1
Pseudogley									<1	>1	<1	<1

Die Phosphoranalysen von Holcus ergaben auf dem laktat-löslichen phosphatreicheren Pseudogley höhere Werte. Die zum gleichen Termin vorgenommenen Kohlenhydratanalysen bestätigen durch die Höhe der jeweiligen Di/Monosaccharid-

Quotienten die bessere P-Versorgung der Pseudogley-Pflanzen. BEHRENS (1939) und HECHT - BUCHHOLZ (1968) berichten, daß das Verhältnis von Disacchariden/Monosacchariden bei ausreichend mit Phosphat versorgten Hafer-Pflanzen unter dem Wert 1, bei ungenügend mit P ernährten Pflanzen über dem Wert 1 liegt. Nach diesen Arbeiten müßte in den Trumaos - gleichgültig, ob mit oder ohne Lecithinzugabe - nach dem ersten Schnitt für die Gräser ein Phosphormangel bestanden haben, da der Quotient Disaccharide/Monosaccharide ausnahmslos über 1 lag. Lediglich die auf dem Forstgarten-Boden stockenden Pflanzen wiesen geringere Werte auf. Dies war allerdings nur dann zutreffend, wenn dem Substrat kein Lecithin beigemischt worden war. Generell galt für alle Versuchsansätze, daß das Verhältnis Disaccharide/Monosaccharide weiter wurde bei Lecithin-Inkubation. Bei dem zweiten Schnitt kehrten sich die Relationen um, denn nun wurden gerade bei den mit Lecithin gedüngten Pflanzen die geringeren Werte für Disaccharide/Monosaccharide gefunden. Demnach hatte sich deren Phosphorversorgung durch die länger anhaltende Mineralisation des organischen Materials merklich verbessert. Während für die Pseudogley-Pflanzen bei sämtlichen Varianten die Quotienten ≤ 1 lagen, traf dies bei den Trumao-Gräsern nur für die Lecithin-gedüngten zu.

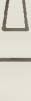
Vergleichende Untersuchungen der verschiedenen Trumao-Anzuchten unterstützen die vorstehenden Befunde. Auch hier war der Proteingehalt im humusärmsten, jedoch an laktatlöslichem P reichsten Substrat (FCO) wiederum am höchsten; entsprechende Werte ergaben sich für die

Phosphorgehalte in den Gräsern. Die Di/Monosaccharid-Quotienten deuteten ebenfalls auf die bessere P-Versorgung des San Francisco-Bodens hin. Der Protein- und P-Gehalt der Portón-Pflanzen war am geringsten (PANDEY 1968, PANDEY und RANJAN 1964). Diese Befunde lassen sich weitgehend in Einklang mit den Ergebnissen der mikrobiellen Umsetzungen bringen. So verliefen die Mineralisationen von inkubiertem organischem Material in dem jeweils humusärmsten Boden am intensivsten, die Mineralisation von bodeneigenem Material dagegen um so besser, je höher der Anteil an organischer Substanz war.

Zur Deutung der Analysenergebnisse wurde verschiedentlich die Möglichkeit erwogen, daß Phosphor der Minimumfaktor für *Holcus* auf den Testböden war. Die Bedeutung dieses Elementes für die Ausbildung bestimmter Pflanzengesellschaften und für deren morphologisch-anatomische Struktur ist umstritten. Es ist zwar bekannt, daß z.B. *Festuca ovina* auf Böden schlechter P-K-Versorgung auftritt, daß *Nardus stricta* Phosphor meidet und die Leguminosen P-Verbindungen besser aufschließen als andere Pflanzenarten. ARENS (1958) führt die Ausbildung skleromorpher Pflanzengesellschaften Brasiliens auf Phosphormangel im Boden zurück. Um speziell dieser Frage nachzugehen, wurden *Holcus*-Pflanzen auf einem Trumao-Boden bei verschiedenen hohen Gaben anorganischen Phosphors angezogen und anschließend auf skleromorphe Eigenschaften hin geprüft. Außerdem sollte untersucht werden, ob *Holcus* in der Lage ist, aus der eigenen in den Boden eingebrachten Streu wieder den Phosphor herauszuziehen (wenn auch mit Hilfe der Mikroorganismen) und für den Eigenbedarf zu nutzen. Aus dem Schema (Tab.19) geht

eindeutig hervor, daß sowohl durch Erhöhung des Bodens mit organischem als auch mit anorganischem (Pflanzenresten) Phosphor der Sproß-Wurzel-Quotient anstieg und der Skleromorphie-Index absank. Demnach kann Skleromorphie nicht nur durch die Verschlechterung der Wasserversorgung, sondern ebenso durch Mangel an Stickstoff oder Phosphor hervorgerufen werden.

Tabelle 19: Schematische Darstellung der Relativgrößen von Sproß, Wurzel, Rohfaser, Rohprotein und des Skleromorphie-Index bei verschieden hoher und verschiedenartiger Phosphor-Düngung

anorg. P-Düngung (Na_2HPO_4)	Sproß- gewicht	Wurzel- gewicht	Sproß/ Wurzel	Roh- faser	Roh- protein	Sklero- morphie- Index
O						
A						
B						

org.
Düngung
mit Holcus
Streu

O						
A						

Es bedeuten: für anorganische Düngung

O = keine Düngung

A = 15 mg P_2O_5 /100 g Trockenboden

B = 30 mg P_2O_5 /100 g "

für organische Düngung

O = keine Düngung

A = 40 mg P_2O_5 /100 g Trockenboden

Die Dicke der Pfeile und deren Richtung zeigt die Größenunterschiede an.

Wie bereits mitgeteilt wurde, hat sich eine Reihe von Autoren eingehend mit den durch Stickstoffmangel verursachten xeromorphen Strukturen verschiedener Pflanzenarten befaßt (VOLK und THIEMANN 1927, BÖNING 1930, FIRBAS 1931, BONING und BÖNING-SEUBERT 1934, MOTHES 1932, MÜLLER-STOLL 1948, GREB 1957).

GREB (1957) führt für diese nicht durch Wassermangel bedingten Xeromorphose den Begriff der Peinomorphose ein. Die Auslösung solcher Peinomorphosen durch P-Mangel war bisher nur vermutet worden. So nahmen BEADLE (1954, 1962, 1966), ARENS (1958), LOVELESS (1961) an, daß das Auftreten von Pflanzengesellschaften mit deutlichen skleromorphen Merkmalen in Zusammenhang mit einer P-Armut des Bodens stehen könne. BEADLE (1966) betont, daß der P-Gehalt von Blättern (*Hakea*, *Eucalyptus*, *Banksia* u.a.) allein noch keine Aussage über die vorhandene Xeromorphie macht. Nach den eigenen Untersuchungen besteht eine statistisch gesicherte Korrelation zwischen der Phosphorverfügbarkeit im Substrat und dem Skleromorphie-Index der Testpflanze. Demnach läßt sich die bei *Holcus* konstatierte Skleromorphie als eine durch P-Mangel hervorgerufene Peinomorphose im Sinne GREBS deuten.

VI. Zusammenfassung

1. In der vorliegenden Arbeit sollten Wiesenböden
- drei chilenische Trumaos und ein deutscher Pseudogley - analysiert und in Beziehung zum jeweiligen Protein- und Phosphorgehalt der als Testpflanzen benutzten *Holcus lanatus* gebracht werden. Vor allem sollte geklärt werden, ob durch P-Düngung ein Rückgang der Skleromorphie erreichbar ist.
2. Die Trumaos enthielten mehr organische Substanz, mehr Gesamt-N und Gesamt-P als der Pseudogley. In letzterem war der Anteil an anorganischem und speziellen laktatlöslichem Phosphor höher als in den Trumaos.
3. Mit zunehmender Bodentiefe verringerte sich der Humusanteil, ebenso die Zahl der Mikroorganismen, und entsprechend nahm auch die Mineralisation bodeneigener Substanzen ab. Die Stickstoffmineralisation war am günstigsten in den Trumaos, diejenige des Phosphors dagegen im Pseudogley. Für die Phosphormineralisation war unter den gewählten Versuchsbedingungen nicht nur die Menge an organischen P-Verbindungen von Bedeutung. Inkubiertes Lecithin oder Pepton wurden am intensivsten in den primär C-ärmsten Substraten mikrobiell abgebaut, d.h. in den unteren Bodenhorizonten.
4. Der Proteingehalt von *Holcus* war nach dem ersten Schnitt im Pseudogley höher als in den Trumaos; nach dem zweiten Schnitt kehrten sich die Verhältnisse um. Zur Deutung der Befunde wurden die wechselnden N- und P-Gehalte der Substrate in Verbindung mit

dem Minimum-Gesetz gebracht. Durch Lecithin-Inkubation trat in den Trumaos eine Verbesserung der Proteinwerte auf.

2. Der Phosphorgehalt war am höchsten in den Pflanzen mit dem höchsten Anteil an laktatlöslichem Phosphor.
3. Durch Düngung eines Trumaos mit anorganischem Phosphor erhöhten sich Sproßgewicht und Proteingehalt, während das Wurzelgewicht sowie der Rohfaseranteil sanken. Der Skleromorphiegrad wird demnach durch P-Gaben zurückgedrängt.
4. Der Rückgang des Skleromorphiegrades von Gras-Anzuchten, die auf molcus-Streu enthaltenden Böden wuchsen, zeigt an, daß die Pflanze mit Hilfe der Mikroorganismen in der Lage ist, den in der eigenen Streu enthaltenen Phosphor wieder in den eigenen Stoffwechsel miteinzubeziehen.
5. Die bei P-Mangel auftretende Skleromorphie muß zu den Peinomorphosen gerechnet werden.

VII. Literaturverzeichnis

ALEXANDER, M. 1967: Introduction to soil microbiology.
London, Sydney. John Wiley & Sons, Inc.

AQUAYE, D.K. 1963: Some signifikance of soil organic
phosphorus mineralisation in the phosphorus
nutrition of Cocoa in Ghana.
Plant and Soil 19, 65-79.

ARENS, K. 1958: O Cerrado como Vegetacao Oligotrófica.
Bol. 224 - Bot.No.15 da Faculdade de Filosofia,
Ciencias e Letras da Universidade de Sao Paolo.

BEADLE, N.C.W. 1953: The edaphic factor in plant ecology
with a special note on soil phosphates.
Ecology 34, No.2, 426-428.

-- 1954: Soil phosphate and the delimitation of plant
communities in eastern Australia I.
Ecology 35, 370-375.

-- 1962: Soil phosphate and the delimitation of plant
communities in eastern Australia II.
Ecology 43, No.2, 281-288.

-- 1966: Soil phosphate and its role in molding segments
of the Australian flora and vegetation, with
special reference to xeromorphy and sclero-
phyllly.
Ecology 47, 992-1007.

BEHRENS, W.U. 1939: Der Einfluß der Phosphorsäure auf
den Stoffumsatz junger Haferpflanzen.
Bodenkunde und Pflanzenernähr. 14, 59-70.

- BEHRENS, W.U. 1955: Die Rolle der Phosphorsäure bei der Assimilation der Pflanze.
Die Phosphorsäure 15, 203-207.
- BELOSERSKI, A.N. 1956: Praktikum der Biochemie der Pflanzen. Berlin.
- BESOAIN, E. 1958: Minearología de las arcillas de algunos suelos volcánicos de Chile.
Rev. Agric. Técnica 18, No.2, 110-165.
- BIRCH, H.F. 1961: Phosphorus transformations during plant decomposition.
Plant and Soil 15, 347-366.
- BOWER, C.A. 1949: Studies on the forms and availability of soil organic phosphorus:
Iowa Agr. Exp. Sta. Res. Bul. 362.
- BÖNING, K. 1930: Beiträge zur Kenntnis des parasitischen Verhältnis von Pseudomonas tabaci Wolf et Foster, des Wildfeuer-Erregers am Tabak.
Z. Parasitenkd. 2, 645.
- und E. BÖNING-SEUBERT 1934: Über Aufbau und Stoffwechsel der Pflanze unter dem Einfluß der Mineralsalznahrung. II. Der osmotische Wert des Preßsaftes von Tabakblättern in seiner Abhängigkeit von der Mineralsalznahrung der Pflanze.
Biochem. Z. 270, 122-136.
- BROADBENT, F.E. and K.B. TYLER 1965: Effect of pH on nitrogen immobilization in two California soils.
Plant and Soil 23, 314-322.

- BROESHART, H., and J.Ch. VAN SCHOUWENBURG 1961: Early diagnosis of mineral deficiencies by means of planta analysis.
Neth. J. Agric. Sci. 2, 108-117.
- CHANG, S.C., and M.L. JACKSON 1957: Frationation of soil phosphorus.
Soil Sci. 84, 133-144.
- COALDRAKE, J.E., and K.P. HAYDOCK 1958: Soil phosphate and vegetal pattern in some natural communities of south eastern Queensland, Australia.
Ecology 39, 1-5.
- EATON, S.V. 1949: Effects of phosphorus deficiency on growth and metabolism of sunflower.
Bot. Gaz. 110, 449-464.
- ECHEVARRIA, J. 1966: Fijación e intercambio del fósforo por los Alumino-Silicato Sintéticos Amorfos y los suelos de cenizas volcánicas.
Rev. del Ing. Agrónomo 6-7, 9-18.
- ECKERSON, S. 1931: Influence of phosphorus deficiency on metabolism of tomato.
Contrib. Boyce Thomsom Inst. 3, 197-217.
- EGGLETON, W.G.E. 1934: Studies on the mikrobiology of grasland soil. 1. General chemical and mikrobiological features.
J.Agr.Sci. 24, 416-434.
- EID, M.T., C.A. BLACK, and O. KEMTHORNE 1951: Importance of soil organic and inorganic phosphorus to plant growth at low and high soil temperatures.
Soil Sci. 71, 361-370.

- FEHER, D., M.FRANK und G.A.MANNINGER 1939: Experimentelle Untersuchungen über den Einfluß der Mikroorganismen-tätigkeit auf das dynamische Verhalten der leichtlöslichen Phosphor-, Kali- und Stickstoffverbindungen des Bodens. Z.Pflanzenernähr., Düng., Bodenkd. 13, 341-348.
- FIRBAS, F. 1931: Untersuchungen über den Wasserhaushalt der Hochmoorpflanzen. Jb. wiss. Bot. 74, 457-696.
- FLAIG, W. und R.KAUL 1955: Zur Aufnahme der Phosphorsäure aus Nucleinsäure durch die Pflanzen. Die Phosphorsäure 15, 208-217.
- GALLAGHER, P.A. 1966: Influence of soil organic nitrogen on Stem Rot and Leaf Scorch in Broccoli. Nature 212, 743-744.
- GERICKE, S. und B.KURMIES 1952: Gesamt-P₂O₅ in Pflanzensubstanz. Z.Pflanzenernähr., Düng., Bodenkd. 59, 235-247.
- GREAVES, M.P., G. ANDERSON, and D.M.WEBLEY 1963: Rapid method for determining phytase activity of soil mikroorganismus. Nature 200, 1231-1232.
- GREB, H. 1957: Der Einfluß tiefer Temperatur auf die Wasser- und Stickstoff-Aufnahme der Pflanzen und ihre Bedeutung für das "Xeromorphieproblem". Planta 48, 523-563.
- HALSTEAD, R.L. 1964: Phosphatase activity of soils as influenced by lyme and other treatments. Canad. J. Soil Sci. 44, 137-144.

- HANWAY, J., and L. DUMENIL 1955: Predicting nitrogen fertilizer needs of Iowa soils. III. - Use of nitrate production together with other information as a basis for making nitrogen fertilizer recommendation for corn in Iowa. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 19, 77-80.
- HARMSSEN, G.W. und D.A. VAN SCHREVEN 1955: Mineralisation of organic nitrogen in soil. Advances Agron. 7, 299-398.
- HECHT-BUCHHOLZ, Ch. 1968: Mono- und Disaccharidgehalt, osmotischer Wert und N/P-Verhältnis von Hafer und Tomaten bei Phosphormangel. Z.Pflanzenernähr., Düng., Bodenkd. 121, 245-255.
- HIRTE, W. 1963: Der Einfluß von Mikroorganismen auf die Phosphatmobilisierung in Niedermoorboden. Zbl. Bakteriol., Parasitenkunde, Infektionskrankheiten, Hyg., II Abt. 116, 485-501.
- ISERMEYER, H. 1952: Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden. Z.Pflanzenernähr., Düng., Bodenkd. 56, 26-38.
- JACKMANN, R.H., and C.A. BLACK 1952: Phytase activity in soils. Soil Sci. 73, 117-125.
- JACOB, J. 1944: Guia para el análisis químico de las rocas. Z. nach Besoain 1958. Rev. Agric. tecnica 18, No.2, 110-165.

- KAILA, A. 1952: Humifikation of straw at various temperatures.
Acta Agr. Fennica 78, 3.
- 1954: Über mikrobiologische Festlegung und Mineralisierung des Phosphors bei der Zersetzung organischer Stoffe.
Z.Pflanzenernähr., Düng., Bodenkd. 64, 27-35.
- KAS, V. 1966: Mikroorganismen im Boden.
Ziemsen Verlag, Lutherstadt Wittenberg.
- KAUSCH, W. und H. EHRIG 1959: Beziehungen zwischen Transpiration und Wurzelwerk.
Planta 53, 434-448.
- KICK, H. und E. GROSSE-BRAUCKMANN 1963: Gefäßversuch über den Nährstoffversorgungszustand eines chilenischen Bodens im Vergleich zu Feldversuchen unter den Standortbedingungen Südchiles.
Die Phosphorsäure 23, 77-81.
- KICKUTH, R. 1960: Phosphatmobilisierung in der Rhizosphäre.
Plant and Soil 13, 147-158.
- KOBUS, J. 1962: The influence of carbon nutrition on the ability of microorganisms to liberate phosphates from insoluble compounds.
Acta Mikrobiol.Polon. 11, 265-270.
- 1962: The distribution of microorganisms mobilizing phosphorus in different soils.
Acta Mikrobiol.Polon. 11, 255-264.

KUBIENA, W. 1952: Clave sistemática de suelos.
CS.I.C. Madrid.

LAUER, W. 1960: Gedanken und Bemerkungen über die
Verwendung von Klimadiagrammen für die
Typisierung und den Vergleich von Klimaten.
Mit einer Klimakarte von Chile.
Erdkunde 14, 232-241.

LOVELESS, A.R. 1961: A nutritional interpretation
of sclerophylly based on differences in
chemical composition of sclerophyllous
and mesophytic leaves.
Ann. Bot. 25, 168-176.

MARTIN, A.E. 1949: Nitrifikation studies in temporary
grassland soils using a perfusion technique.
J. Brit. Grassland Soc. 4, 161-182.

Mc GILLIBARY, J.H. 1927: Effects of phosphorus on
composition of tomato plants.
Jour. Agric. Res. 34, 97-108.

MEYER, L. 1949: Untersuchungen an Rohphosphaten. -
Zit. nach MÜLLER, G. 1965: Bodenbiologie
Fischer Verlag Jena.

MILLBANK, J.W. 1959: The physiology of nitrifikation
in Kenya highland soil.
Plant and Soil 11, 293-311.

- MOTHES, K. 1932: Ernährungsstruktur und Transpiration.
Biol. Zentralbl. 52, 193-223.
- MUDRA, A. 1958: Statistische Methoden für land-
wirtschaftliche Versuche.
Parey Verlag, Berlin und Hamburg.
- MULDER 1844: Über die Bestandteile der Ackererde.
J. Prak. Chemie 32, 321-344.
- MÜLLER-STOLL, W.R. 1948: Der Einfluß der Ernährung
auf die Xeromorphie der Hochmoorpflanzen.
Planta 35, 225-251.
- MUNSON, R.D. und G. STANDFORD 1955: Predicting nitrogen
fertilizer needs of Iowa soils. IV.
Evaluation of nitrate production as a
criterion of nitrogen availability.
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 19, 464-468.
- NORMAN, A.G. 1931: The biological decomposition of
plant materials. VI. The effect of
hydrogen-ion concentration on the rate
of immobilisation of N by straw.
Biochem. J. 25, 283-287.
- PAECH, T. und M.V. TRACEY 1955: Moderne Methoden der
Pflanzenanalyse.
Bd. II, Berlin Göttingen Heidelberg,
Springer Verlag.

- PAECH, T. und M.V.TRACEY 1956: Moderne Methoden der Pflanzenanalyse.
Bd. II, Berlin Göttingen Heidelberg,
Springer Verlag.
- PANDEY, R.M. 1968: Changes in nitrogenous fraktions of certains crops plants as affected by phosphorus deficiency.
Flora 159, 299-306.
- und S. RANJAN 1964: Sugar and organic acid contents as affected by phosphorus and potassium deficiencies in various parts of *Linum usitatissimum* L.
Flora 155, 52-63.
- PICCI, G. 1952: La mineralizzazione del fosforo organico per via microbica.
Ann. Fac. Agrar. Univ. Pisa N.S. 13, 8-30.
- PIERRE, W.H. und F.W.PARKER 1927: Soil phosphorus studies II.
Soil Sci. 24, 119-128.
- POCHON, J. und P.TARDIEUX 1962: Techniques d'analyse en mikrobiologie du sol.
Aus Collection "Techniques de base"
St. Mandé (Seine).
- RICHARSON, H. 1938: The nitrogen cycle in grassland soils: with special reference to the Rothamsted Park grass experiment.
J. Agric. Sci. 28, 15-31.

- ROBERTS, C.R. und C.DIAZ 1959-1960: The great soil groups of Chile.
Rev. Agric. Técnica 19-20, 37-64.
- ROUTENBERG, E. und H.ASSENBERG-NEUHAUS 1951: Phosphorsäurebestimmung nach der Molybdänblau-Methode mit Ascorbinsäure als Reduktionsmittel.
Z.Pflanzenernähr., Düng., Bodenkd. 53, 149-155.
- RUNGE, M. 1965: Untersuchungen über die Mineralstickstoff-Nachlieferung an nordwestdeutschen Waldstandorten.
Flora 155, 353-386.
- SAUERLANDT, W., F.SCHEFFER und J.H.BANSE 1957: Untersuchungen über organisch gebundenen Phosphor in verschiedenen Böden.
Z.Pflanzenernähr., Düng., Bodenkd. 76, 244-261.
- SCHEFFER, F. und P.SCHACHTSCHABEL 1966: Lehrbuch der Bodenkunde. Stuttgart.
- SCHULZ, W. 1965: Einfluß der Düngung auf Menge und Form von Zucker in der Pflanze.
Forschungsbericht aus dem Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Martin-Luther-Universität Halle.
- SCHWABE, G.H. 1961: Düngungsversuche zu Kornfrüchten im südlichen Chile unter Berücksichtigung mikroklimatischer Einflüsse.
Die Phosphorsäure 21, 113-141.

- SINGH, J.N. und D.P.SINGH 1968: Effect of phosphorus deficiency on carbohydrate metabolism of *Mentha arvensis*.
Phisiol. Plantarum 21, 1341-1347.
- SOMMER, G. 1966: Untersuchungen zur Fraktionierung des anorganischen Phosphat im Boden.
Z.Pflanzenernähr., Düng., Bodenkd. 113, 215-225.
- STEINER, M. 1938: Untersuchungen über den natürlichen Kreislauf des Phosphors.
Angew. Chemie 51, 834-836.
- STEBING, L. 1965: Pflanzenökologisches Praktikum.
Parey Verlag, Berlin Hamburg.
- STOKLASA, J. 1911: Biochemischer Kreislauf des Phosphats Ions im Boden.
Zbl. Bakt. Ab. II, 29, 385.
- SZEMBER, A. 1960: Influence on plant growth of the breakdown of organic phosphorus compounds by mikroorganism.
Plant and Soil 13, 147-158.
- TAYLOR, N.H. 1948: Soil map of New Zealand.
New Zealand Soil Bureau Map. S.B. 280.
- THOMPSON, L.M. und C.A. BLACK 1947: The effect of temperature on the mineralisation of soil organic phosphorus.
Soil Sci. Proc. 12, 323-326.

THOMPSON, L.M., C.A.BLACK und J.A.ZÜLLNER 1954:

Occurrence and mineralisation of organic phosphorus in soils with particular reference to associations with nitrogen carbon and pH. Soil Sci. 77, 185-196.

VOLK, A. und E. THIEMANN 1927: Zur Anatomie verschieden ernährter Pflanzen.

Forsch. a.d.Geb. d.Pflanzenkrankheiten, Berlin, Heft 3.

WALTER, H. 1931: Die krioskopische Bestimmung des osmotischen Wertes bei Pflanzen.

Abderh.Hdb.biol.Arbeitsmeth. Ab.XI, Teil 4, 353-371.

-- 1936: Tabellen zur Berechnung des osmotischen Wertes von Pflanzensäften, Zuckerlösungen und einigen Salzlösungen.

Ber. dtsch.bot.Ges. 54, 328-339.

-- 1960: Einführung in die Phytologie. Bd.III Grundlagen der Pflanzenverbreitung. I.Teil Standortslehre.

Stuttgart, Ulmer Verlag.

WEINBERGER, P. und R. BINSACK 1970: Zur Entstehung und Verbreitung der Aschenböden in Südchile.

Der Tropenlandwirt 71, 19-31.

WENZEL, W. 1956: Ausschuß des Bodens mit Salpetersäure und Überchlorsäure zur Bestimmung der Gesamt-Phosphorsäure im Boden unter Verwendung der Vanadat-Molybdat-Methode.

Z.Pflanzenernähr., Düng., Bodenkd. 75, 216-222.

- WITTICH, W. und L.MAINZHAUSEN 1956: Untersuchungen über den Verlauf des Bodenhumus und seiner Komponenten unter natürlichen Bedingungen. Z.Pflanzenernähr., Düng., Bodenkd. 75, 228-239.
- ZÖTTL, H. 1958: Die Bestimmung der Stickstoffmineralisation im Waldhumus durch den Brutversuch. Z.Pflanzenernähr., Düng., Bodenkd. 81, 35-48.
- 1960: Dynamik der Stickstoffmineralisation in organischem Waldbodenmaterial. I. Beziehung zwischen Bruttomineralisation und Nettomineralisation. Plant and Soil 13, 167-182.
- 1960: Dynamik der Stickstoffmineralisation in organischem Waldbodenmaterial. II. Einfluß des Stickstoffgehaltes auf die Mineralstickstoff-Nachlieferung. Plant and Soil 13, 183-205.

Lebenslauf

Am 1. Juni 1938 wurde ich in Valdivia als Tochter des Industriellen Francisco Alberdi Barrenetxea und seiner Ehefrau Rita Lag Galarraga geboren. Meine elfjährige Schulzeit absolvierte ich in der gleichen Stadt und konnte sie im Januar 1956 mit dem Bachillerato-Examen beenden. 1961 heiratete ich Rodolfo Deppe. Ich habe jetzt 2 Töchter im Alter von 8 und 6 Jahren.

Im Herbst 1956 begann ich an der Universidad Austral de Chile mein Studium in Biologie und Chemie. Im November 1961 bestand ich vor einer Kommission der Universidad de Chile in Santiago das Staatsexamen in den Fächern Botanik, Zoologie und Chemie mit Auszeichnung. Anschließend wurde ich wissenschaftliche Assistentin am Botanischen Institut der Universidad Austral in Valdivia und arbeitete dort bis Ende 1967.

Ein Stipendium vom Deutschen Akademischen Austauschdienst erlaubte mir vom Sommersemester 1968 an im Botanischen Institut (Pflanzenökologie) in Giessen unter Leitung von Frau Prof. Dr. L. Steubing die Untersuchungen für meine Dissertation, die im Frühjahr 1970 abgeschlossen werden konnte.

Zum Abschluß meiner Arbeit sei mir gestattet, Frau Professor Dr. Lore Steubing, Direktor des Botanischen Instituts, Lehrstuhl II (Pflanzen-ökologie) der Justus Liebig-Universität Giessen, sehr herzlich für die Überlassung des Themas und die Unterstützung bei den erforderlichen Untersuchungen zu danken.

Herrn Professor Dr. E. Kilian, dem Leiter des Tierhauses, sei für die Bereitstellung des Fotolabors gedankt. Fräulein cand.rer.nat. M.T. Carmona gilt mein Dank für ihre Hilfe bei der Anfertigung der Fotos.

Nicht zuletzt danke ich dem Deutschen Akademischen Austauschdienst, Bad Godesberg, für die Gewährung eines Stipendiums, das diese Arbeit ermöglichte.

